



BEST AVAILABLE COPY

DE 197 19 905 A 1

⑯ Unionspriorität:

08645483 13.05.96 US

⑯ Anmelder:

Mitutoyo Corp., Kawasaki, Kanagawa, JP

⑯ Vertreter:

Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166 Gräfelfing

⑯ Erfinder:

Masreliez, Karl G., Washington, US; Andermo, Nils Ingvar, Washington, US; Atherton, Kim W., Washington, US

5

⑯ Elektronische Schieblehre mit einem induktiven Niederleistungs-Positionswandler

⑯ Bei der beschriebenen elektronischen Schieblehre wird ein mit induziertem Strom arbeitender Niederleistungs-Positionswandler eingesetzt, der eine an einem langgestreckten Stab angebrachte Schieberanordnung und Meßbacken enthält, die sowohl von dem langgestreckten Stab als auch von der Schieberanordnung vorstehen. Hierbei zeigt die Position der Schieberanordnung an dem Stab den Abstand zwischen den Meßbacken an. Eine Relativbewegung zwischen den Meßbacken wird durch einen induktiven, an der Schieberanordnung angebrachten Lesekopf ermittelt, der mit an dem Stab angebrachten Flußmodulatoren gekoppelt ist. Die Flußmodulatoren können Fluß-Unterbrecher und/oder Fluß-Vерstärker sein und modulieren das von einer Senderwicklung des Lesekopfs erzeugte Magnetfeld, so daß gleichfalls am Lesekopf vorhandene Empfängerwicklungen Ausgangsspannungen erzeugen, die dem jeweiligen Überlappungsmaß zwischen den Flußmodulatoren und den Empfängerwicklungen entsprechen. Die Relativlagen der Meßbacken werden hierbei durch Überwachung der von den Empfängerwicklungen abgegebenen Ausgangssignale mittels einer Signalverarbeitungsschaltung ermittelt und auf einer digitalen Anzeige angezeigt. Die erfindungsgemäße Schieblehre arbeitet mit hoher Zuverlässigkeit selbst in Umgebungen mit erhöhtem Verunreinigungspartikel-Gehalt.

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf elektronische Schieblehren (Meßschieber) und insbesondere auf elektronische Schieblehren, die mit induktiv gekoppelten Wandlerelementen arbeiten.

5 Elektronische Schieblehren werden in Fabrikationsbetrieben häufig zum Messen der Dicke oder anderer physikalischer Abmessungen eines Objekts eingesetzt. Die hauptsächliche Komponente dieser elektronischen Schieblehren ist fast durchgängig ein kapazitiver Positionssteller.

10 Kapazitive Wandler benötigen sehr geringen Strom und sind daher für den Einsatz in batteriebetriebenen Meßwerkzeugen wie etwa bei elektronischen Schieblehren gut geeignet. Kapazitive Wandler arbeiten nach dem Prinzip eines Kondensators mit parallelen Platten, wobei in dem kapazitiven Wandler eine Sende-elektrode und eine Empfängerelektrode an oder in einem Schlitten (Schieber) angebracht sind. Die Sende-elektrode ist mit einer geeigneten Signalerzeugungsschaltung verbunden, während die Empfängerelektrode an eine entsprechende Lese-Schaltung angeschlossen ist.

15 Der Schlitten bewegt sich entlang einer stationären Skala bzw. entlang eines stationären Lineals, die bzw. das eine Mehrzahl von mit gegenseitigem Abstand angeordneten Signalelektroden enthält, die sich entlang der Längsrichtung der Skala erstrecken. Wenn sich der Schlitten relativ zu der Skala bewegt, werden die Sende- und die Empfängerelektrode an dem Schlitten kapazitiv mit den Signalelektroden an der Skala gekoppelt. Die Leseschaltung ermittelt die Bewegung oder die Position des Schlittens relativ zu der Skala durch Vergleich der Phase von mindestens einem Signal, das auf eine Empfängerelektrode eingekoppelt wird, mit der Phase von mindestens einem Signal, das an eine Sende-elektrode angelegt ist.

20 Der kapazitive Positionssteller kann ein inkremental ausgelegter bzw. arbeitender Wandler oder aber ein absolut arbeitender Positionssteller sein. Bei dem inkrementalen, kapazitiven Positionssteller stellt die Leseschaltung lediglich eine Anzeige der relativen Bewegung mit Bezug zu einem bekannten Punkt bereit. Bei einem kapazitiven Positionssteller mit absoluter Positionserfassung stellt die Leseschaltung eine Anzeige für die absolute Position zwischen dem Schlitten und der Skala bereit.

25 Inkrementale Positionswandler und mit Absolutpositionserfassung arbeitende Positionswandler sind in der US-PS 4,420,754 und der US-PS 4,879,508 beschrieben.

30 Diese kapazitiven Positionswandler sind für den Einsatz in einer trockenen, relativ sauberen Umgebung, wie etwa in Inspektionsräumen oder Ingenieurbüros, geeignet. Jedoch besteht auch der Wunsch, diese kapazitiven Positionswandler bei Schieblehren zur Messung von Abmessungen in Maschinen- bzw. Bearbeitungsläden, an Baustellen und in anderen, relativ stark mit Schmutzteilchen kontaminierten Umgebungen verwenden zu können. In solchen Umgebungen besteht die Gefahr, daß die kapazitiven Schieblehren durch Partikel und Flüssigkeiten, wie etwa durch metallische Teilchen, Schleifenstaub und Kühl- oder Schneidflüssigkeiten verunreinigt werden. Die flüssigen oder teilchenförmigen Verunreinigungsmittel können zwischen die Signalelektroden an der Skala und die Sende- und/oder Empfängerelektroden an dem Schlitten wandern. Die Verunreinigungsmittel ändern die Kapazität zwischen den Signalelektroden und den Sende- und/oder Empfängerelektroden in einer Weise, die nicht mit der Position des Schlittens relativ zu der Skala zusammenhängt. Generell rufen Verunreinigungsmittel zwischen den Signalelektroden und den Sende- und/oder Empfängerelektroden eines kapazitiven Positionswandlers Meßfehler aufgrund dreier unterschiedlicher Mechanismen hervor. Erstens können die festen oder flüssigen Teilchen eine Dielektrizitätskonstante besitzen, die sich von der Dielektrizitätskonstante von Luft unterscheidet. In diesem Fall wird der Kapazitätswert zwischen den Signalelektroden und den Sende-/Empfängerelektroden, die die Verunreinigungsteilchen sandwichartig umgeben, größer als der Kapazitätswert zwischen anderen Signal- und Sende-/Empfängerelektroden, die die gleiche relative geometrische Beziehung aufweisen, zwischen denen sich aber keine Verunreinigungsteilchen befinden. Als Ergebnis erzeugt die Schieblehre keine genaue Anzeige der Position des Schlittens relativ zu der Skala.

35 Zweitens können die Verunreinigungsmittel bzw. Schmutzpartikel relativ hohe Leitfähigkeit aufweisen. Normalerweise bilden die Signal- und die Sende-/Empfängerelektroden einen offenen Stromkreis, so daß kein Strom zwischen diesen Elektroden fließt. Dieser Stromkreis wird aber durch ein leitendes Verunreinigungsmittel zwischen den Signal- und den Sende-elektroden oder den Empfängerelektroden geschlossen. Insbesondere wird ein RC-Schaltkreis gebildet, bei dem das Verunreinigungsmittel das Widerstandselement bildet. Die Zeitkonstante des auf diese Weise gebildeten RC-Schaltkreises hängt sowohl von der Leitfähigkeit des Verunreinigungsmittels als auch von der Kapazität zwischen der Signalelektrode und den Sende- und/oder Empfängerelektroden ab. Wenn die Zeitkonstante relativ klein ist, kann die Amplitude des Signals so rasch abfallen, daß es durch die herkömmliche, in kapazitiven Positionswandlern eingesetzte Verschaltung nicht korrekt erfaßt werden kann.

40 Drittens können elektrisch leitende Partikel zwischen der Signalelektrode und den Sende- und/oder Empfängerelektroden das Feld ändern, das zwischen der Signalelektrode und den Sende- und/oder Empfängerelektroden aufgebaut ist, wodurch der Wert der Kapazität zwischen der Signalelektrode und den Sende- und/oder Empfängerelektroden geändert wird. Verzerrungen des elektrischen Felds können auch dazu führen, daß die Signale zwischen der Signalelektrode und den Sende- und/oder Empfängerelektroden derart gestört bzw. verzerrt sind, daß die in der Schieblehre vorhandene Schaltung keine exakte Anzeige der Position des Schlittens relativ zu der Skala bereitstellt.

45 In der US-PS 5,172,485 (Gerhard et al) ist eine Methode zur Minimierung der nachteiligen Auswirkungen von Verunreinigungsmitteln in kapazitiven Positionswandlern beschrieben. Bei dieser Methode werden die Elektroden mit einer dünnen Schicht aus dielektrischem Material beschichtet. Der Schlitten wird dann an der Skala derart angebracht, daß die dielektrische, auf den (Sende- und Empfänger-) Elektroden des Schlittens vorhandene Beschichtung benachbart zu der dielektrischen Beschichtung angeordnet ist, die auf den (Signal-) Elektroden der Skala vorhanden ist. Durch die Anordnung der dielektrischen Schichten zwischen den Signalelektroden und den Sende- und Empfängerelektroden werden diese nachteiligen Auswirkungen somit minimiert. Darüberhinaus

steht die dielektrische Beschichtung auf dem Schlitten in gleitverschieblicher Berührung mit der dielektrischen Beschichtung auf der Skala. Der Gleitkontakt zwischen den dielektrischen Beschichtungen verringert den Spalt zwischen dem Schlitten und der Skala, in den die Verunreinigungsmittel eindringen können.

Bei dieser Methode der gleitverschieblichen Berührung ist es erforderlich, daß die Elektroden jeweils elastisch aneinander gedrückt werden. Die elastische oder federnde Vorspannung ermöglicht es, Fehlern hinsichtlich der exakten Flachheit der Oberfläche und bei der exakten Ausrichtung Rechnung zu tragen, da sich die Elektroden voneinander weg bewegen können. Hierdurch ist es möglich, daß die dielektrischen Schichten zwangsweise auseinandergebracht werden. Wenn jedoch ein solcher kapazitiver Positionsandler in einer stark verunreinigten Umgebung eingesetzt wird, können die Verunreinigungsteilchen den Schlitten von der Skala zwangsweise wegdrücken und sich zwischen dem Schlitten und der Skala ansammeln. Daher hat sich auch diese Methode als in manchen Fällen ungeeignet gezeigt.

Allerdings werden die negativen, durch die sich zwischen dem Schlitten und der Skala sammelnden Verunreinigungsteilchen hervorgerufenen Effekte in gewissem Umfang verringert, wenn dicke dielektrische Beschichtungen anstelle der in der US-PS 5,172,485 vorgeschlagenen dünnen Schichten eingesetzt werden. Die dicken dielektrischen Beschichtungen führen zur Bildung eines Kondensatorpaars, dessen Kondensatoren in Reihe mit der Kapazität geschaltet sind, die durch die Verunreinigungsteilchen hervorgerufen wird. Da sich die durch die dielektrischen Schichten hervorgerufene Kapazität nicht ändert, wenn sich der Schlitten entlang der Skala bewegt, werden die Änderungen der Kapazität zwischen den Signalektroden und den Sende- und/oder Empfängerelektronen, die durch Änderungen der Dicke oder der Zusammensetzung der Verunreinigungsteilchen bedingt sind, durch die festen, durch die dicken dielektrischen Schichten hervorgerufenen Kapazitäten dominiert. Durch den Einsatz von dicken dielektrischen Beschichtungen kann somit das durch dielektrische Verunreinigungsteilchen hervorgerufene Problem somit verringert werden, jedoch ist es nicht möglich, das Problem bei dieser Vorgehensweise vollständig zu beseitigen.

Bei einer anderen Methode werden die Elektroden gegenüber den flüssigen und teilchenförmigen Schmutzteilchen isoliert. Als Beispiel kann die mit einem kapazitiven Positionsandler ausgestattete Schieblehre abgedichtet werden. Allerdings führt diese Abdichtung der Schieblehre zu einer Erhöhung der Fabrikations- und Montagekosten und ist oftmals unzuverlässig. Weiterhin ist es schwierig, solche Abdichtungen in der Praxis bei allen Größen und Anwendungen von elektronischen Schieblehren einzusetzen.

Magnetische Wandler stellen alternative Ausgestaltungen von Positionsmeßwandlern dar. Magnetische Wandler sind gegenüber einer Verunreinigung, die durch Öl, Wasser und andere Flüssigkeiten hervorgerufen wird, relativ unempfindlich. Bei magnetischen Wandlern, wie etwa den Codierern "Sony Magnescale", werden ein Magnetfeld erfassender Lesekopf und eine ferromagnetische Skala (Meßlineal) eingesetzt, die selektiv gemäß einem oder mehreren periodischen, magnetischen Mustern magnetisiert ist. Der Lesekopf erfaßt Änderungen des Magnetfelds während der Bewegung des Lesekopfs relativ zu den magnetischen Mustern an der Skala. Jedoch werden die magnetischen Wandler ihrerseits durch kleine Partikel, insbesondere durch ferromagnetische, an der magnetisierten Skala anhaftende Partikel, negativ beeinflußt. Demzufolge müssen magnetische Wandler ebenfalls abgedichtet, verkapst oder in anderer Weise geschützt werden, damit ihre Genauigkeit nicht durch Verunreinigungsteilchen beeinflußt wird. Magnetische Wandler bieten auch nicht die Möglichkeit eines sehr geringen Strom- bzw. Leistungsverbrauchs, der aber für elektronische Schieblehren erwünscht ist. Als Ergebnis werden magnetische Wandler generell nicht in Meßfühlern eingesetzt.

Induktive Wandler sind im Gegensatz zu kapazitiven und auch zu magnetischen Wandlern stark unempfindlich gegenüber Schneidöl, Wasser oder anderen Flüssigkeiten und auch gegenüber Staub, ferromagnetischen Partikel und anderen Verunreinigungsteilchen. Induktive Wandler wie etwa Wandler des Typs "INDUCTO-SYN®" arbeiten mit mehrfachen, an einem Element vorhandenen Wicklungen, durch die ein variierendes magnetisches Feld erzeugt wird, das durch gleichartige Wicklungen an einem weiteren Element empfangen wird. Die mehrfachen Wicklungen können eine Abfolge von parallelen Haarnadel-Windungen sein, die auf einer gedruckten Leiterplatte bzw. Druckschaltungsplatine wiederholt angeordnet sind. Ein Wechselstrom, der in den Wicklungen des ersten Elements fließt, erzeugt das variierende Magnetfeld. Das von dem zweiten Element empfangene Signal verändert sich periodisch in Abhängigkeit von der relativen Position zwischen den beiden Elementen. Eine Positionsermittlungsschaltung empfängt das von dem zweiten Element abgegebene, sich ändernde Signal und kann die relative Position zwischen dem ersten und dem zweiten Element ermitteln. Allerdings sind beide Elemente aktiv. Daher muß jedes Element mit einer geeigneten Treiberschaltung elektrisch gekoppelt werden, was zu einer Vergrößerung der Herstellungs- und Einbaukosten führt. Darüberhinaus ist es schwierig, induktive Wandler in der Hand gehaltene Geräte wie etwa in Schieblehren einzubauen, da bei induktiven Wandlern beide Elemente elektrisch gekoppelt werden müssen.

Andere Bewegungs- oder Positionsandler, die einerseits verschmutzungsunanfällig sind und andererseits dennoch noch billiger hergestellt werden können als kapazitive, magnetische oder induktive Wandler, sind in der US-PS 4,697,144 (Howbrook), US-PS 5,233,294 (Dreoni) US-PS 4,743,786 (Ichikawa et al) und der GB 2,064,125 A (Thatcher) beschrieben. In diesen Druckschriften sind Positionserfassungseinrichtungen offenbart, die die Position bzw. die relative Lage zwischen einem erregtem Element und einem inaktiven oder nicht erregten Element ermitteln. Die in diesen Druckschriften beschriebenen Wandlersysteme weisen keine gegenseitige elektrische Kopplung zwischen den beiden sich bewegenden Elementen, die ein Nachteil von induktiven Wandlern ist, auf. Jedoch sind diese Systeme im allgemeinen nicht im Stande, die hohe Genauigkeit von induktiven oder kapazitiven Wandlern bereitzustellen.

Weiterhin ist bei manchen von diesen Wandlersystemen das inaktive Element vorzugsweise ferromagnetisch, so daß es ein starkes Magnetfeld erzeugt. Alternativ wird das inaktive Element in einem Magnetfeld bewegt, das durch einen komplexen, in oder an dem aktiven Element ausgebildeten Aufbau festgelegt und konzentriert wird.

Darüberhinaus bietet keines dieser Systeme die Kombination aus einem Betrieb mit geringer Leistung und

ausreichender Genauigkeit sowie ausreichendem Meßbereich, was aber von Benutzern von Schieblehren gefordert wird. Die in diesen Druckschriften offenbarten Wandlersysteme erzeugen zudem Ausgangssignale, die nicht kontinuierlich bzw. unstetig sind oder die eine nicht einfach beschreibbare Abhängigkeit von der Position aufweisen. Solche Signale tragen dazu bei, daß die relativen Lagen über vergroßerte Abstände hinweg ungenau ermittelt werden. Ferner sind die in diesen Druckschriften offenbarten Wandlersysteme auch in anderer Hinsicht schlecht angepaßt, wenn sie in eine Schieblehre integriert werden.

Mit der vorliegenden Erfindung wird demgegenüber eine elektronische Schieblehre geschaffen, die auch in rauen Industrie-Umgebungen einsetzbar ist. Die elektronische Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfindung enthält Wanderelemente, die gegenüber teilchenförmigen und flüssigen Verunreinigungsmitteln im wesentlichen unempfindlich sind. Die erfindungsgemäße elektronische Schieblehre behält hierbei die herkömmliche Form, den herkömmlichen Betrieb, das gewohnte Benutzungsgefühl und den niedrigen Leistungsverbrauch von herkömmlichen elektronischen Schieblehren bei.

Die elektronische Schieblehre gemäß dieser Erfindung läßt sich leicht und kostengünstig herstellen, indem herkömmliche Herstellungsmethoden wie etwa die Druckschaltungsplatinen-Technologie eingesetzt werden. Weiterhin ist der Wandler gemäß dieser Erfindung gegenüber einer Verschmutzung durch Partikel einschließlich ferromagnetischer Teilchen, oder durch Öl, Wasser oder andere Fluide unempfindlich. Als Ergebnis kann bei dem Wandler der Einsatz von teuren Abdichtungen gegenüber der Umgebung vermieden werden, wobei der Wandler dennoch in den meisten Laden- bzw. Arbeitsstätten- und Feld-Umgebungen (nicht abgeschlossenen Bereichen) verwendbar ist. Bei der elektronischen Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfindung wird eine impulsbetriebene Schaltung eingesetzt, die es ermöglicht, daß der induktive Wandler nur wenig Leistung verbraucht. Folglich stellt die Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfindung ein in der Hand haltbares, batteriebetriebenes Meßwerkzeug dar, das aus einer kleinen Batterie oder einer Solarzelle lange Betriebslebensdauer gewinnt.

Die elektronische Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfindung enthält einen Schlitten oder Schieber, der an einem langgestreckten Hauptstab bzw. Haupt-Träger angebracht ist, wie es auch bei der herkömmlichen Ausgestaltung der Fall ist. Positionsmeßbacken stehen sowohl von dem Haupt-Träger als auch von dem Schieber vor. Die Position des Schiebers relativ zu dem Haupt-Träger zeigt den Abstand zwischen den Positionsmeßbacken an dem Haupt-Träger und an dem Schieber an.

Der Haupt-Träger bzw. Hauptbalken ist mit einer langgestreckten Skala (Lineal) bzw. Maßteilung mechanisch gekoppelt. Die langgestreckte Skala enthält einen Satz von Magnetfeld- oder Magnetfluß-Modulatoren, die sich entlang ihrer Länge in einem bestimmten Muster erstrecken. Die Schieberanordnung enthält eine Aufnehmeranordnung, die einen Lesekopf aufweist. Die relative Bewegung zwischen den Positionsmeßbacken entspricht der relativen Bewegung zwischen dem Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren und dem Lesekopf. Die elektronische Schieblehre weist einen Tiefen-Stab bzw. Tiefen-Meßstab auf, der an dem Schieber angebracht ist und von diesem in der Längsrichtung des Hauptbalkens vorsteht. Der Tiefenmeßstab wird zur Messung der Tiefe eines in einer Oberfläche vorhandenen Lochs eingesetzt.

Eine mit niedriger Leistung arbeitende Signalverarbeitungselektronik (elektronische Schaltung) ist lediglich mit dem Lesekopf, nicht aber mit dem Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren verbunden. Die mit niedriger Leistung arbeitende Elektronik zeigt die relative Position zwischen dem Lesekopf und dem Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren in Abhängigkeit von dem Unterbrechungseffekt an, den der Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren auf die Signale ausübt, die durch den Lesekopf erzeugt und von diesem empfangen werden. Auch wenn bei der elektronischen Schieblehre gemäß der erfindungsgemäßen Ausgestaltung ein mit niedriger Leistung arbeitender induktiver Wandler mit einem Lesekopf eingesetzt wird, der sich relativ zu dem Satz von Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren bewegt, kann die elektronische Schieblehre auch mit anderen Arten von induktiven Wandlern arbeiten, die ausreichend genau sind, mit ausreichend niedriger Leistung auskommen und in gleicher Weise gegenüber Verunreinigungsteilchen unempfindlich sind.

Der induktive Wandler gemäß der vorliegenden Erfindung enthält eine Magnetfeldquelle, die vorzugsweise einen ersten Pfad aus leitendem Material umfaßt. Die Magnetfeldquelle kann ein sich änderndes Magnetfeld oder einen sich ändernden Fluß erzeugen. Mindestens ein Satz von Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren ist innerhalb des sich ändernden Magnetfelds oder Flusses positioniert, um hierdurch das Magnetfeld oder den Magnetfluß in der Nähe des mindestens einen Magnetfeld- oder -Fluß-Modulators räumlich zu ändern. Ein innerhalb einer dünnen Zone ausgebildeter Sensorleiter bzw. Erfassungsleiter bildet ein periodisches Muster aus flußaufnehmenden Flächen bzw. Bereichen. Das periodische Muster erstreckt sich entlang einer Meßachse und ist innerhalb des sich ändernden Magnetfelds oder Flusses angeordnet. Das sich ändernde Magnetfeld bzw. der sich ändernde Magnetfluß erzeugt somit in passiver Weise eine elektromotorische Kraft (EMF bzw. EMK) an mindestens einem Ausgang des Sensorleiters in Abhängigkeit von dem sich ändernden Magnetfeld bzw. dem sich ändernden Magnetfluß.

Der mindestens eine Magnetfeld- oder -Fluß-Modulator und das periodische Muster des Sensorleiters bewegen sich relativ zueinander ausgehend von einer ersten Position zu einer zweiten Position. In der ersten Position überlappt ein erster Abschnitt des periodischen Musters den mindestens einen Magnetfeld- oder -Fluß-Modulator. In der zweiten Position überlappt ein zweiter Abschnitt des periodischen Musters den mindestens einen Magnetfeld- oder Fluß-Modulator. Dies bedeutet, daß durch den mindestens einen Magnetfeld- oder -Fluß-Modulator die elektromotorische Kraft ausgehend von der ersten Position bis zu der zweiten Position geändert wird.

Der mindestens eine Magnetfeld- oder -Fluß-Modulator arbeitet mit dem periodischen Muster des Sensorleiters derart zusammen, daß eine sich kontinuierlich ändernde, periodische elektromotorische Kraft an dem Ausgang des Sensorleiters in Abhängigkeit von einer kontinuierlichen, relativen Bewegung zwischen dem mindestens einen Magnetfeld- oder -Fluß-Modulator und dem periodischen Muster des Sensorleiters erzeugt

wird. Bei einem Ausführungsbeispiel ist jeder einzelne Modulator aus dem Satz von Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren ein Flußunterbrechungselement, das durch eine elektrisch leitende Platte gebildet ist. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel ist jeder Modulator aus dem Satz von Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren ein Flußverstärker bzw. ein Flußverstärkungselement, das aus einem Material hergestellt ist, das hohe magnetische Permeabilität aufweist. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel enthält der Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren mindestens einen Flußunterbrecher bzw. ein Flußunterbrechungselement und mindestens einen Flußverstärker bzw. ein Flußverstärkungselement.

Der Sensorleiter ist vorzugsweise durch eine Mehrzahl von ersten Schleifen, die alternierend mit einer Mehrzahl von zweiten Schleifen angeordnet sind, gebildet. Die Schleifen sind aus einem leitenden Material hergestellt. Die ersten und zweiten Schleifen sind innerhalb des sich ändernden Magnetfelds angeordnet. Jede der ersten Schleifen erzeugt eine sich ändernde, erste Signalkomponente als Reaktion auf das sich ändernde Magnetfeld. In gleicher Weise erzeugt jede der zweiten Schleifen eine sich ändernde zweite Signalkomponente als Reaktion auf das sich ändernde Magnetfeld. Die Mehrzahl von ersten und zweiten Schleifen und der Satz aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren sind relativ zueinander beweglich. In einer ersten Position können eine oder mehrere der ersten Schleifen nahe bei den entsprechenden Modulatoren des Satzes aus Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren positioniert sein, wodurch die ersten, durch diese ersten Schleifen erzeugten Signalkomponenten geändert werden. In einer zweiten Position können eine oder mehrere der zweiten Schleifen nahe bei entsprechenden Modulatoren aus dem Satz von Magnetfeld- oder Fluß-Modulatoren positioniert sein, wodurch die zweiten, durch diese zweiten Schleifen erzeugten Signalkomponenten geändert werden. Die ersten und zweiten Signalkomponenten zeigen die Position jeder der ersten und zweiten Schleifen relativ zu dem Satz von Magnetfeld- oder -Fluß-Modulatoren an.

Bei der vorliegenden Erfindung ist somit ein induktiver Sensor mit akzeptablen physikalischen Eigenschaften, guter Genauigkeit und geringem Stromverbrauch in einer praktisch einsetzbaren, in der Hand gehaltenen, batteriebetriebenen Schieblehre eingegliedert. Die Schieblehre ist gegenüber Verunreinigungsmitteln wie etwa Öl und Partikeln unempfindlich, für einen breiten Bereich von Einsatzmöglichkeiten geeignet, genau und relativ kostengünstig herzustellen, verglichen mit den herkömmlichen Schieblehren. Diese und weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden in der nachfolgenden detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen noch näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine auseinandergezogene, isometrische bzw. perspektivische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels der erfundungsgemäßen elektronischen Schieblehre, die mit nach dem Unterbrechungsprinzip arbeitenden Modulatoren ausgestattet ist.

Fig. 2 zeigt eine Querschnittsansicht der elektronischen Schieblehre, die entlang der Linie 2-2 in Fig. 1 geschnitten ist.

Fig. 3 zeigt eine Draufsicht auf die Ausgestaltung der Senderwicklungen und der Empfängerwicklungen eines Lesekopfs für einen induktiven Positionsgeber sowie die entsprechenden, nach dem Unterbrechungsprinzip arbeitenden Skalenelemente.

Fig. 4 zeigt eine Draufsicht, in der die alternierenden bzw. einander abwechselnden Schleifen einer der in Fig. 3 gezeigten Empfängerwicklungen dargestellt sind.

Fig. 5A zeigt eine Draufsicht, in der eine der Skala überlagerte Empfängerwicklung dargestellt ist, wobei die Skala mit einem ersten Abschnitt der Empfängerwicklung gekoppelt ist,

Fig. 5B zeigt eine Draufsicht, in der die der Skala überlagerte Empfängerwicklung dargestellt ist, wobei die Skala mit einem zweiten Abschnitt der Empfängerwicklung gekoppelt ist,

Fig. 5C zeigt eine Wellenformdarstellung, in der die Amplitude und die Polarität des von der Empfängerwicklung erzeugten Ausgangssignals dargestellt sind, das während der Bewegung der Empfängerwicklung relativ zu der Position der Skala erzeugt wird,

Fig. 6 zeigt eine auseinandergezogene, perspektivische bzw. isometrische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels der erfundungsgemäßen elektronischen Schieblehre,

Fig. 7 zeigt ein Blockschaltbild der elektronischen Schaltung des Codierers, die bei dem ersten und bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der elektronischen Schieblehre eingesetzt wird,

Fig. 8 zeigt ein Schaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels des Signalgenerators,

Fig. 9 zeigt ein Diagramm, in dem die Spannung über der Zeit für ein Resonanzsignal aufgetragen ist, das von dem Signalgenerator abgegeben wird,

Fig. 10A zeigt eine Darstellung, in der die Spannung über der Zeit für ein Ausgangssignal dargestellt ist, das von der Empfängerwicklung abgegeben wird,

Fig. 10B zeigt eine Darstellung, in der die Spannung über die Zeit aufgetragen ist, die sich ergibt, wenn die relative Position zwischen den Flußmodulatoren und der Empfängerwicklung um eine viertel Wellenlänge verschoben worden ist,

Fig. 10C zeigt ein Diagramm, in dem die Spannung über die Zeit aufgetragen ist, daß die relative Position zwischen dem Flußmodulator und der Empfängerwicklung um eine halbe Wellenlänge verschoben worden ist,

Fig. 11A bis G zeigen Darstellungen des zeitlichen Signalverlaufs, in denen die Spannungen dargestellt sind, die an ausgewählten Positionen in der in Fig. 7 gezeigten elektronischen Schaltung des Codierers während der Abtastung auftreten,

Fig. 12A bis G zeigen Darstellungen des zeitlichen Verlaufs von Spannungen an ausgewählten Positionen in der in Fig. 7 gezeigten elektronischen Schaltung des Codierers, wobei das Steuersignal zur Verringerung der Energieverluste beschnitten ist,

Fig. 13 zeigt ein Schaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels des Signalgenerators,

Fig. 14 zeigt eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs eines resultierenden Signals, das an dem Kondensator in

dem Signalgenerator gemäß Fig. 13 auftritt,

Fig. 15 zeigt einen Spannungsverlauf, bei dem die von der Empfängerwicklung erhaltenen Spannungsamplitude gegenüber der Position Skala aufgetragen ist,

Fig. 16 zeigt eine auseinandergezogene, isometrische bzw. perspektivische Ansicht eines dritten Ausführungsbeispiels der elektronischen Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 17 zeigt einen Querschnitt der elektronischen Schieblehre, der entlang der Linie 17-17 in Fig. 16 geschnitten ist,

Fig. 18 zeigt einen seitlichen Querschnitt eines Abschnitts der elektronischen, in Fig. 16 gezeigten Schieblehre, wobei der Querschnitt entlang der Linie 18-18 in Fig. 17 geschnitten ist,

Fig. 19 zeigt eine isometrische bzw. perspektivische Ansicht der Skala eines vierten Ausführungsbeispiels der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung, die mit nach dem Verstärkungsprinzip arbeitenden Modulatoren ausgestattet ist,

Fig. 20 zeigt eine seitliche Schnittansicht der Skala gemäß Fig. 19, wobei die Schnittansicht entlang der Linie 20-20 in Fig. 19 geschnitten ist und die Verstärkungselemente zeigt, die von der Basis getragen werden,

Fig. 21 zeigt einen Querschnitt der Skala gemäß dem fünften Ausführungsbeispiel der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 22 zeigt eine Draufsicht auf die Skala gemäß dem sechsten Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen Schieblehre,

Fig. 23 zeigt einen seitlichen Querschnitt der Skala eines siebten Ausführungsbeispiels der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 24 zeigt eine seitliche Schnittansicht der Skala eines achtten Ausführungsbeispiels der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 25 zeigt einen seitlichen Querschnitt einer ersten abgeänderten Ausführungsform der Skala bei dem achtten Ausführungsbeispiel der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 26 zeigt eine seitliche Querschnittsansicht einer zweiten Abänderung der Skala bei dem achtten Ausführungsbeispiel der Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfundung,

Fig. 27 zeigt ein Blockschaltbild der elektronischen Schaltung des Codierers bei der elektronischen Schieblehre, wobei eine Wellenlängen-Verfolgungseinrichtung bzw. -Nachführungseinrichtung enthalten ist,

Fig. 28 zeigt eine Darstellung von Signalverläufen, wobei Spannungen an ausgewählten Positionen in der elektronischen Schaltung des Codierers gemäß Fig. 27 während der Abtastung dargestellt sind,

Fig. 29 zeigt eine Signaldarstellung, die das Sendesteuersignal und das Anzeigekontaktierungs-Steuersignal veranschaulichen,

Fig. 30 zeigt ein Blockschaltbild der elektronischen Schaltung des Codierers bei der elektronischen Schieblehre, die, verglichen mit der gemäß Fig. 7 vorgesehenen elektronischen Schaltung des Codierers, in umgekehrter Weise arbeitet, und

Fig. 31 zeigt eine Darstellung von Signalverläufen, die Spannungen an ausgewählten Positionen in der elektronischen Schaltung des Codierers gemäß Fig. 30 während der Abtastung zeigen.

Gemäß der Darstellung in Fig. 1 enthält die dort gezeigte induktive Schieblehre 100 einen langgestreckten Stab 102. Der langgestreckte Stab 102 ist durch eine steife oder semisteife bzw. semiflexible Stange gebildet, die einen im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt besitzt. Eine Rille 106 ist an einer oberen Fläche des langgestreckten Stabs 102 ausgebildet, in der eine langgestreckte Meßskala (Meßlineal) 104 angebracht ist, die fest mit dem langgestreckten Stab 102 verbunden ist. Die Rille 106 ist in dem Stab 102 mit einer Tiefe ausgebildet, die ungefähr gleich groß ist wie die Dicke der Skala 104. Folglich liegt die obere Fläche der Skala 104 nahezu vollständig in der gleichen Ebene wie die oberseitigen Ränder des Stabs 102.

Ein Paar von seitlich vorstehenden, feststehenden Backen 108 und 110 ist an dem Stab 102 in der Nähe von dessen einem Ende (erstes Ende) 112 einstückig ausgebildet. Ein entsprechendes Paar von seitlich vorstehenden, beweglichen Backen 116 und 118 ist an einer Schieberanordnung 120 ausgebildet. Die äußeren Abmessungen eines Objekts werden dadurch gemessen, daß das Objekt zwischen den für den Eingriff bzw. die Anlage vorgesehenen, als Paar vorliegenden Oberflächen 114 an den Backen 108 und 116 angeordnet wird. In gleichartiger Weise werden die inneren Abmessungen eines Objekts dadurch gemessen, daß die Backen 110 und 118 in dem Objekt angeordnet werden. Die Eingriffsflächen 122 der Backen 110 und 118 werden hierbei derart positioniert, daß sie die Oberflächen des zu messenden Objekts berühren.

Die Eingriffssoberflächen 122 und 114 sind derart angeordnet, daß die Eingriffssoberflächen 122 der Backen 110 und 118 mit einander ausgerichtet sind, wenn sich die Eingriffssoberflächen 114 der Backen 108 und 116 in gegenseitiger Berührung befinden. In dieser Position, das heißt in der nicht gezeigten Null-Position, sollten sowohl die äußeren als auch die inneren, durch die Schieblehre 100 gemessenen Abmessungen gleich null sein.

Die Schieblehre 100 enthält auch einen Tiefenstab bzw. Tiefenmeßstab 126, der an der Schieberanordnung 120 angebracht ist. Der Tiefenmeßstab 126 steht von dem Stab 102 in dessen Längsrichtung vor und endet an einem Eingriffsende bzw. Anschlagende 128. Die Länge des Tiefenmeßstabs 126 ist derart festgelegt, daß das Anschlagende 128 mit einem zweiten Ende 132 des Stabs 102 fluchtet, wenn sich die Schieblehre 100 in ihrer Null-Stellung befindet. Mit der Schieblehre 100 kann die Tiefe eines Lochs dadurch gemessen werden, daß das zweite Ende 132 des Stabs 102 auf eine Oberfläche aufgesetzt wird, in der sich das Loch befindet, und daß der Tiefenmeßstab 126 in das Loch soweit eingeführt wird, bis das Anschlagende 128 den Boden des Lochs berührt.

Wenn eine Messung unter Einsatz der äußeren Meßbacken 108 und 116, der inneren Meßbacken 110 und 118 oder des Tiefenmeßstabs 126 durchgeführt wird, wird der gemessene Wert jeweils auf einer herkömmlichen digitalen Anzeige 138 angezeigt, die in einer Abdeckung 139 der Schieblehre 100 angebracht ist. In der Abdeckung 139 ist weiterhin ein Paar Drucktastenschalter 134 und 136 angeordnet. Durch den Schalter 134 wird eine zur Signalverarbeitung und zur Anzeige dienende elektronische Schaltung 166 der Schieberanordnung 120

eingeschaltet und ausgeschaltet, während der Schalter 136 zur Rücksetzung der Anzeige 138 auf null dient.

Wie in Fig. 1 gezeigt, enthält die Schieberanordnung 120 eine Basis 140 mit einer Führungskante 142. Die Führungskante 142 steht mit einer Seitenkante 146 des langgestreckten Stabs 102 in Berührung, wenn sich die Schieberanordnung 120 entlang des langgestreckten Stabs 102 verschiebt bzw. die Schieberanordnung 120 den Stab 102 übergreift. Hierdurch wird eine exakte Betätigung der Schieblehre 100 sichergestellt. Damit ein freies Spiel zwischen der Schieberanordnung 120 und dem langgestreckten Stab 102 ausgeschaltet wird, wird eine nachgiebige bzw. elastische Druckstange 148 durch ein Paar Schrauben 147 an eine entsprechend angepaßte Kante des Stabs 102 angedrückt.

Der Tiefenmeßstab 126 ist eine zu seiner Aufnahme dienenden Rille 152 eingeführt, die an einer Unterseite des langgestreckten Stabs 102 ausgebildet ist. Die Rille 152 erstreckt sich entlang der Unterseite des langgestreckten Stabs 102, um hierdurch einen Raum zur Aufnahme des Tiefenmeßstabs 126 zu bilden. Der Tiefenmeßstab 126 wird in der Rille 152 durch einen Endanschlag 154 gehalten. Der Endanschlag 154 ist an der Unterseite des Stabs 102 an dessen zweitem Ende 132 angebracht und verhindert darüberhinaus auch, daß die Schieberanordnung 120 während der Betätigung der Schieblehre unabsichtlich außer Eingriff mit dem langgestreckten Stab 102 an dessen zweiten Ende 132 gelangt.

Die Schieberanordnung 120 enthält weiterhin eine Aufnehmeranordnung 160, die an der Basis 140 oberhalb des langgestreckten Stabs 102 montiert ist. Folglich bewegen sich die Basis 140 und die Aufnehmeranordnung 160 als eine Einheit. Die Aufnehmeranordnung 160 weist ein Substrat 162 wie etwa eine herkömmliche Druckschaltungsplatine bzw. gedruckte Leiterplatte auf. Das Substrat 162 trägt an seiner unteren Flächen einen induktiven Lesekopf 164, während an einer oberen Fläche des Substrats 162 die zur Signalverarbeitung und zur Anzeigesteuerung dienende elektronischen Schaltung 166 angebracht ist. Eine nachgiebige bzw. elastische Abdichtung 162 ist zwischen der Abdeckung 139 und dem Substrat 162 zusammengedrückt und dient zur Verhinderung einer Verschmutzung der zur Signalverarbeitung und Anzeigesteuerung dienenden elektronischen Schaltung 166.

Wie in Fig. 2 gezeigt ist, ist der Lesekopf 164 durch eine dünne, belastbare bzw. abnutzungsbeständige, isolierende Beschichtung 167 abgedeckt, die vorzugsweise ungefähr 50 mm oder 50  $\mu\text{m}$  dick ist.

Die Skala 104 enthält eine langgestreckte Druckschaltungsplatine bzw. gedruckte Leiterplatte 168 als ihr primäres bzw. primärseitiges Wandlerelement. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, ist ein Satz von Unterbrechern 170 vorgesehen, die entlang der gedruckten Leiterplatte 168 mit Abstand in einem periodischen Muster angeordnet sind. Die Unterbrecher 170 sind vorzugsweise aus Kupfer hergestellt und vorzugsweise gemäß den herkömmlichen Fertigungsmethoden zur Fertigung bzw. Bearbeitung von gedruckten Leiterplatten ausgebildet, wobei aber auch viele andere Herstellungsmethoden eingesetzt werden können. Wie in Fig. 2 gezeigt ist, sind die Unterbrecher 170 durch eine schützende, isolierende Schicht 172 mit einer Dicke von vorzugsweise höchstens 100 mm oder 100  $\mu\text{m}$ ) abgedeckt. Die schützende Schicht 172 kann gedruckte Markierungen enthalten, wie es in Fig. 1 gezeigt ist.

Die Schieberanordnung 120 trägt den Lesekopf 164 derart, daß dieser geringfügig gegenüber dem Stab 102 durch einen Luftspalt 174 beabstandet ist, der zwischen den isolierenden Beschichtungen 167 und 172 ausgebildet ist. Der Luftspalt 174 weist eine Größe auf, die vorzugsweise im Bereich von 0,5 mm liegt. Der Lesekopf 164 und die Unterbrecher 170 bilden zusammen einen induktiven Wandler, der vorzugsweise von jeder beliebigen Ausführungsform sein kann, wie sie in der US-Patentanmeldung 08/441 769 bzw. der nicht vorveröffentlichten EP 0 743 508 A offenbart ist, deren Offenbarungsgehalt hiermit in vollem Umfang in den Offenbarungsgehalt vorliegender Anmeldung miteinbezogen wird. Insbesondere weist der induktive Wandler eine derjenigen Ausgestaltungen auf, die in den vorliegenden Unterlagen offenbart sind. Bei der Schieblehre 100 können aber auch andere Ausführungsformen von induktiven Wandlern zum Einsatz kommen, die die notwendigen Verpackungs- bzw. Anordnungsmöglichkeiten bieten, ausreichend genau sind, geringen Leistungsbedarf haben und in gleicher Weise unempfindlich sind gegenüber Verunreinigungen. Die Schieblehre 100 kann auch mit Stromsparmethoden ausgerüstet werden, wie sie zum Beispiel in der am 17. April 1996 eingereichten vorläufigen (provisional) US-Patentanmeldung 60/015 707 offenbart sind.

Der durch den Lesekopf 164 und die Unterbrecher 170 gebildete induktive Wandler bewirkt bei dem ersten, in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Ausführungsbeispiel die Erzeugung von sich ändernden Magnetfeldern. Die sich ändernden Magnetfelder rufen umlaufende, als Wirbelströme bezeichnete Ströme in den Unterbrechern 170 hervor, die in den sich ändernden Magnetfeldern angeordnet sind.

So ist zum Beispiel einer der Unterbrecher 170 zwischen den Polflächen eine Elektromagneten angeordnet. Das Magnetfeld zwischen den Polflächen ändert sich mit der Zeit, beispielsweise wenn der Elektromagnet durch einen Wechselstrom angesteuert wird. Folglich ändert sich der Fluß, der durch eine beliebige geschlossene Schleife in dem Unterbrecher 170 fließt. Als Ergebnis wird eine elektromotorische Kraft ("EMK") um die geschlossene Schleife herum induziert. Da der Unterbrecher 170 ein Leiter ist, wird ein Wirbelstrom hervorgerufen, dessen Wert gleich groß ist wie die elektromotorische Kraft, dividiert durch den Widerstandswert des Materials entlang der Schleife, aus dem der Unterbrecher 170 hergestellt ist.

Solche Wirbelströme werden häufig in den Magnetkernen von Transformatoren hervorgerufen. In den Transformatoren sind diese Wirbelströme unerwünscht, da sie zu Leistungsverlusten führen und Wärme erzeugen, die abgeführt werden muß. In der vorliegenden Erfindung wird jedoch das Vorhandensein von Wirbelströmen zur Erzielung eines nützlichen Effekts ausgenutzt.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch den Lesekopf 164 in größeren Einzelheiten. Der Lesekopf 164 besteht vorzugsweise aus fünf im wesentlichen koplanaren bzw. in der gleichen Ebene liegenden Leitern 180 bis 184. Zwei der Leiter, nämlich die Leiter 181 und 182, bilden eine erste Empfängerwicklung 178. Zwei weitere Leiter, nämlich die Leiter 183 und 184, bilden eine zweite Empfängerwicklung 179. Die erste und die zweite Empfängerwicklung 178 und 179 sind zentral entlang des Substrats 162 angeordnet und erstrecken sich entlang dieses

Substrats 162 in sich überlappender Weise.

Die erste und die zweite Empfängerwicklung 178 und 179 sind jeweils in Form einer sinusförmigen Musters angeordnet und weisen die gleiche Wellenlänge auf. Der Leiter 181 erstreckt sich von einem Anschluß 185 bis zu einem Zwischenverbindungsanschluß 189a, bei dem er mit dem Leiter 182 verbunden ist. Der Leiter 182 verläuft dann zu einem Anschluß 187 zurück. Die Leiter 181 und 182 bilden die erste Empfängerwicklung 178 und definieren eine Mehrzahl von sinusförmigen Schleifen 191.

In gleicher Weise verläuft der Leiter 183 von einem Anschluß 188 zu einem Zwischenverbindungsanschluß 189b, bei dem er mit dem Leiter 184 verbunden ist. Der Leiter 184 verläuft dann zu einem Anschluß 186 zurück. Die Leiter 183 und 184 bilden die zweite Empfängerwicklung 179 und definieren gleichfalls eine Vielzahl von sinusförmigen Schleifen 192. Die Schleifen 192 sind gegenüber den durch die erste Empfängerwicklung 178 gebildeten Schleifen 191 um eine viertel Wellenlänge oder eine halbe Wellenlänge oder um die Hälfte einer Schleife versetzt.

Gemäß Fig. 3 sind die Leiter 181 bis 184 auf der gleichen Oberfläche des Substrats 162 dargestellt. Jedoch befinden sich halbe Wellenlängenabschnitte jedes der Leiter 181 bis 184 jeweils alternierend bzw. abwechselnd tatsächlich in separaten Schichten des Substrats 162. Folglich berühren sich die Wicklungen 178 und 179 selbst an den Übergangspunkten in der Mitte des Musters nicht physikalisch. Die halben Wellenlängenabschnitte (bzw. Abschnitte mit halber Wellenlänge) jedes der Leiter 181 bis 184 werden dann mit den anderen halben Wellenlängenabschnitten des gleichen Leiters mittels Durchführungen 190 verbunden, die durch das Substrat 162 verlaufen. Auch wenn die Leiter 181 bis 184 nicht auf der gleichen Oberfläche des Substrats 162 verlaufen, liegen die Leiter 181 bis 184 innerhalb einer dünnen Zone. Der Abstand zwischen der obersten Schicht der Wicklungen 178 und 179 auf dem Substrat 162 und der untersten Schicht des Substrats 162 ist somit minimal. Daher verlaufen die Leiter 181 bis 184 im wesentlichen koplanar bzw. in der gleichen Ebene.

Die zweite Empfängerwicklung 179 ist im wesentlichen identisch mit der ersten Empfängerwicklung 178, abgesehen von dem räumlichen Phasen-Versatz. In der nachfolgenden Beschreibung wird somit hauptsächlich auf die erste Empfängerwicklung 178 Bezug genommen, wobei die Erläuterungen aber in gleicher Weise auch auf die zweite Empfängerwicklung 179 zutreffen.

Die fünfte Wicklung 180 ist eine Senderwicklung, die ebenfalls innerhalb der dünnen Zone liegt und die erste und die zweite Empfängerwicklung 178 und 179 im wesentlichen umschließt. Die Senderwicklung 180 ist gleichfalls durch einen Leiter auf einer Schicht oder Oberfläche des Substrats 162 gebildet und ist ebenfalls gemäß den herkömmlichen Herstellungsmethoden zur Herstellung bzw. Bearbeitung von gedruckten Leiterplatten ausgebildet. Die Senderwicklung 180 weist eine Länge 194 und eine Breite 195 auf, die ausreichend groß sind, um die erste und die zweite Empfängerwicklung 178 und 179 zu umgeben.

Wenn nichts anderes angegeben ist, sind die Messungen bzw. Dimensionen gemäß den Fig. 3 und 4 relativ zu einer Meßachse 300 definiert. Die "Länge" bezieht sich generell auf die parallel zu der Meßachse 300 verlaufenden Abmessungen, während sich die "Breite" generell auf Abmessungen bezieht, die rechtwinklig zu der Meßachse 300 in der Ebene des Substrats 162 verlaufen. Der Abstand zwischen zwei benachbarten Schleifen 191, die durch die erste Empfängerwicklung 178 gebildet sind, oder zwischen zwei benachbarten, durch die zweite Empfängerwicklung 179 gebildeten Schleifen 192 ist als der Teilungsabstand oder die Wellenlänge 193 des Lesekopfs 164 definiert. Die Strecke, die von einer einzelnen Schleife 191 oder 192 überspannt wird, ist gleich groß wie die Hälfte der Wellenlänge 193. Die Strecke 302, die durch jeden Unterbrecher 170 überspannt wird, ist vorzugsweise ebenfalls gleich groß wie die Hälfte einer Wellenlänge 193. Durch den eine viertel Wellenlänge betragenden Versatz zwischen der ersten Empfängerwicklung 178 und der zweiten Empfängerwicklung 179 werden um 90° phasenverschobene Signale erzeugt. Folglich läßt sich die Richtung der Bewegung des Lesekopfs 164 relativ zu der Skala 104 ermitteln. Ferner ist der Abstand 304 zwischen einem Rand eines Unterbrechers 170 bis zu dem entsprechenden Rand eines benachbarten Unterbrechers 170 vorzugsweise gleich groß wie die Wellenlänge 193. Wenn alle Unterbrecher identisch sind, kann der Abstand 304 von Rand zu Rand auch jedes beliebige ganzzahlige Vielfache "K" der Wellenlänge 193 sein. In dem letzteren Fall weist jede Empfängerwicklung vorzugsweise eine Länge auf, die dem "N·K"-fachen der Wellenlänge 193 entspricht, wobei N ebenfalls eine ganze Zahl bezeichnet.

Wie in Fig. 4 gezeigt ist, weist die erste Empfängerwicklung 178 ein sinusförmiges Muster aus Schleifen 191 auf. Die erste Empfängerwicklung 178 ist durch die Leiter 181 und 182 gebildet, die in einer Richtung in einem sinusförmigen oder Zickzack-förmigen Muster angeordnet sind, und dann in der umgekehrten Richtung verlaufen. Folglich überqueren sich die Leiter 181 und 182 jeweils physikalisch (aber nicht elektrisch), um hierdurch die Schleifen 191 zu bilden. Alternativ können die Schleifen 191 dadurch geschaffen werden, daß eine Schleife aus isoliertem Draht im Uhrzeigersinn oder im Gegenuhzeigersinn jeweils um 180° in regelmäßigen Schritten entlang der Schleife verdreht wird. Der Aufbau der zweiten Empfängerwicklung 179 ist identisch mit demjenigen der ersten Empfängerwicklung 178.

Als Ergebnis des sich überkreuzenden Aufbaus der Schleifen 191 weisen jeweils benachbarte Schleifen 191 jeweils unterschiedliche effektive Wicklungsrichtungen auf. Ein durch die Senderwicklung 180 fließender Wechselstrom erzeugt ein gleichförmiges, sich zeitlich veränderndes Magnetfeld, das durch die erste Empfängerwicklung 178 verläuft. Das sich zeitlich ändernde Magnetfeld erzeugt eine elektromotorische Kraft in der ersten Empfängerwicklung 178, das heißt einen in dieser fließenden, sich zeitlich ändernden Strom. Folglich arbeitet die Empfängerwicklung 178 als ein spezialisierter Magnetflußsensor. Da jeweils benachbarte Schleifen 191 in unterschiedlichen Richtungen gewickelt sind, haben die elektromotorische Kraft und der Strom, die in benachbarten Schleifen 191 hervorgerufen werden, jeweils abwechselnde Polaritäten, wie es in Fig. 4 mit den Symbolen "+" und "-" veranschaulicht ist.

Jede der Schleifen 191 umschließt im wesentlichen die gleiche Fläche. Falls daher die Anzahl von "+" Schleifen

191a gleich groß ist wie die Anzahl von "—" Schleifen 191b und die Schleifen 191 einen gleichförmigen Magnetfluß empfangen. Induziert das Magnetfeld insgesamt eine bei netto null liegende elektromotorische Kraft an den Anschlüssen 185 und 187 der ersten Empfängerwicklung 178. Dies ist in gleicher Weise auch für die zweite Empfängerwicklung 179.

Falls sich ein Unterbrecher 170 an der Skala 104, oder irgendein anderes leitendes Objekt, nahe zu dem Lesekopf 164 bewegt, induziert das Magnetfeld, das durch die Senderwicklung 180 hervorgerufen wird, Wirbelströme in dem Unterbrecher 170 oder dem anderen leitenden Objekt. Demzufolge wird ein Magnetfeld in der Nähe des Unterbrechers hervorgerufen, das dem durch die Senderwicklung 180 erzeugten Magnetfeld entgegenwirkt. Die Wirbelströme erzeugen somit entgegengesetzte gerichtete Magnetfelder, die das von der Senderwicklung erzeugte Magnetfeld in der Nähe des Unterbrechers 170 dämpfen.

Als Ergebnis wird der Magnetfluß, der von der ersten Empfängerwicklung 178 empfangen wird, räumlich geändert oder unterbrochen. Solange die Unterbrechung die "+" Schleifen 191a und die "—" Schleifen 191b nicht in gleicher Weise beeinflussen, gibt die Empfängerwicklung 178 ein nicht bei null liegendes EMK-Signal ab. Demzufolge ändert sich die Polarität der elektromotorischen Kraft (EMK) zwischen den Ausgangsanschlüssen 185 und 187, wenn sich der leitende Unterbrecher 170 von einem Bereich nahe bei einer "+" Schleife 191a bis zu einem Bereich nahe bei einer "—" Schleife 191b bewegt.

Die Größe des Unterbrechers 170 ist vorzugsweise nicht gleich groß wie die Wellenlänge 193. Wenn die Länge 302 des Unterbrechers 170 zum Beispiel gleich groß wäre wie die Wellenlänge 193, und wenn die Breite des Unterbrechers 170 gleich groß wäre wie die Breite 195, würde der Unterbrecher 170 unabhängig davon, wo er entlang der Meßachse 300 relativ zu den Schleifen 191 angeordnet ist, das von der Senderwicklung erzeugte Magnetfeld in gleich großen Bereichen von benachbarten "+" Schleifen 191a und "—" Schleifen 191b unterbrechen. Als Ergebnis würde die Amplitude des von der Empfängerwicklung 178 abgegebenen EMK-Signals nominell bei null liegen.

Das von der Empfängerwicklung 178 erzeugte Ausgangssignal wäre ferner weiterhin unempfindlich gegenüber der Position des Objekts relativ zu den Schleifen 191. Somit wäre das Ausgangssignal gleich null, unabhängig von der Position des Unterbrechers 170 entlang der Meßachse. Da bei dieser geometrischen Gestaltung kein nutzbares Signal resultiert, ist die Größe des Unterbrechers 170 vorzugsweise nicht gleich groß wie die Wellenlänge 193. Die Länge des Unterbrechers 170 kann größer sein als eine Wellenlänge 193. Da jedoch der Abschnitt des Unterbrechers, der gleich einer vollen Wellenlänge 193 ist, nicht zu der nutzbaren Signalstärke beiträgt, ist die Länge des Unterbrechers 170 vorzugsweise kleiner als eine Wellenlänge 193.

Wenn die Länge des Unterbrechers 170 ungleich einer Wellenlänge 193 oder einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge 193 ist, werden in den meisten Positionen ungleiche Flächen der "+" und "—" Schleifen 191 unterbrochen. Das erzeugte Signal ist daher empfindlich gegenüber der Position des Unterbrechers 170 relativ zu den Schleifen 191. Das erzeugte Signal weist die größte Amplitudenänderung als Funktion der Position auf, wenn die Länge der Unterbrecher 170 gleich einer halben Wellenlänge 193 ist. Wenn die Länge der Unterbrecher 170 gleich der Hälfte der Wellenlänge 193 ist, bedeckt der jeweilige Unterbrecher 170 periodisch entweder eine volle "+" Schleife 191a oder eine volle "—" Schleife 191b, ohne daß er in diesen Positionen irgendeinen Abschnitt einer benachbarten "—" Schleife 191b bzw. einer "+" Schleife 191a überdeckt. Folglich führen Unterbrecher 170 mit einer Länge von jeweils einer halben Wellenlänge zu dem größtmöglichen Signal.

Wie in Fig. 3 gezeigt ist, sind die Unterbrecher 170 an der Skala 104 mit einem Teilungsabstand (das heißt einem Abstand von einem Rand zu einem benachbarten, entsprechenden Rand) angeordnet, der einer Wellenlänge 193 entspricht. Folglich sind aufeinanderfolgende Unterbrecher um eine halbe Wellenlänge 193 voneinander beabstandet. Die Unterbrecher 170 weisen vorzugsweise hohe elektrische Leitfähigkeit auf, sind jedoch nicht ferromagnetisch. Damit werden die Unterbrecher 170 nicht magnetisiert und ziehen daher keine ferromagnetischen Teilchen an. Wie in Fig. 1 gezeigt ist, ist die Länge der Skala 104 bei dem ersten Ausführungsbeispiel größer als die Länge des Lesekopfs 164. Die Länge der Skala 104 definiert somit den Meßbereich der Schieblehre 100.

Fig. 6 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen Schieblehre 100. Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel ist die Schieblehre 100 identisch wie die Schieblehre 100 gemäß dem ersten, in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel, mit Ausnahme der nachstehend beschriebenen Abänderungen. Bei dem zweiten, in Fig. 6 gezeigten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 werden die Empfängerwicklungen 178 und 179 und die Senderwicklungen 180 durch die Skala 104 getragen, die an dem Haupt-Träger bzw. Stab 102 angeordnet ist. Die Unterbrecher 170 sind innerhalb der Schieberanordnung 120 positioniert, die sich entlang der Skala 104 bewegen. Bei diesem zweiten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 erstreckt sich der Lesekopf 164 im wesentlichen über die gesamte Länge des Stabs 102. Die die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung durchführende elektronische Schaltung 166 und eine Stromversorgung sind ebenfalls an dem Haupt-Träger 102 angeordnet und sind elektrisch mit herkömmlichen Mitteln mit dem Lesekopf 164 verbunden.

Sowohl bei dem ersten als auch bei dem zweiten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 sind die Schleifen 191 der ersten Empfängerwicklung 178 vorzugsweise innerhalb einer vorgegebenen Region in dem Inneren der Senderwicklung 180 angeordnet. Erfundungsgemäß wurde anhand von Experimenten ermittelt, daß die Senderwicklung 180 ein Magnetfeld erzeugt, dessen Intensität sich rasch in Abhängigkeit von dem Abstand zu dem Leiter der Senderwicklung 180 verringert. Jedoch wurde erfundungsgemäß weiterhin durch Experimente erkannt, daß das Magnetfeld in dem Bereich im Inneren der Senderwicklung 180 dazu tendiert, sich jenseits eines gewissen Abstands von dem Leiter der Senderwicklung 180 einem gleichmäßigen bzw. konstanten Wert anzunähern.

Der gewisse Abstand definiert folglich den äußeren Umfang einer Region mit relativ gleichförmigem Magnetfeld. Der Abstand, bei dem das Magnetfeld gleichförmig wird, stellt eine Funktion der Geometrie der Wicklung dar. Zur Verbesserung der Genauigkeit des induktiven Wandlers gemäß der vorliegenden Erfundung sind die

Schleifen 191 und 192 demzufolge vorzugsweise mit dem gewissen Abstand von der Senderwicklung 180 beabstandet. Die Schleifen 191 und 192 der ersten und der zweiten Empfängerwicklung 178 und 179 sind vorzugsweise vollständig innerhalb der Region mit relativ gleichförmigem Magnetfeld angeordnet.

Bei einer als Beispiel dienenden Ausführung haben die Unterbrecher 170, die Empfängerwicklungen 178 und 179 und die Senderwicklungen 180 die folgenden Abmessungen:

Wellenlänge der Empfängerwicklung = 5,08 mm (0,200 Zoll);  
Länge des Unterbrechers = 2,54 mm (0,100 Zoll);  
Breite des Unterbrechers = 12,45 mm (0,490 Zoll);  
Breite der Senderwicklung = 10,16 mm (0,400 Zoll);  
Breite der Empfängerwicklung = 8,64 mm (0,340 Zoll);  
 $\frac{1}{4}$  Empfänger-Wellenlänge = 1,27 mm (0,050 Zoll); und  
Länge der Senderwicklung = 49,53 mm (1,950 Zoll).

Aufgrund einer exakten Symmetrierung und einer abwechselnden Verschachtelungen der "+" Schleifen 191a und der "-" Schleifen 191b erzeugt die erste Empfängerwicklung 178 ein nominell bei null liegendes Ausgangssignal, wenn Unterbrecher 170 vorhanden sind. Gleichzeitig führt die unmittelbar gegenseitig benachbarte Anordnung der sich abwechselnden "+" Schleifen 191a und "-" Schleifen 191b zu einem kontinuierlichen Signal, das an jedem Ausgangsanschluß der Empfängerwicklung bzw. Empfängerwicklungen erzeugt wird, wenn sich der oder die Unterbrecher 170 entlang der Meßachse 300 bewegen. Diese Gestaltungsmerkmale führen somit zu einem hohen Signal/Stör-Verhältnis bzw. Rauschabstand der Schieblehre 100. Damit ermöglichen diese Merkmale eine sehr exakte Messung.

Durch die vorstehend angegebene geometrische Gestaltung des Lesekopf 164 und der Skala 104 bei dem ersten Ausführungsbeispiel wird sichergestellt, daß die Schieblehre 100 sehr exakt arbeitet. Zusätzlich werden durch die vorstehend erläuterte geometrische Ausgestaltung des ersten Ausführungsbeispiels der Schieblehre 100 Auswirkungen, die von nicht gleichförmigen Senderfeldern entlang der Breite des Lesekopfs 164, das heißt rechtwinklig zu der Meßachse 300, herrühren, in großem Umfang ausgemerzt. Die vorstehend erläuterte geometrische Gestaltung führt auch zur Zurückweisung von extern angelegten Magnetfeldern als "Fehler asymmetrischen Betriebs" aufgrund der symmetrischen "differenziellen Erfassung" bei dem induktiven Wandler gemäß der vorliegenden Erfindung. Das Ausmaß der Genauigkeit bei dem ersten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 mit induktivem Wandler hängt in starkem Umfang von der Sorgfalt bei der Gestaltung und der Konstruktion des Lesekopfs 164 und der Skala 104 ab.

In den Fig. 5A bis 5C ist ein Beispiel für die Arbeitsweise des induktiven Wandlers 100 gezeigt.

Wenn sich die Skala 104 und ihre Unterbrecher 170 (in gestrichelten Linien dargestellt) relativ zu dem Sender bzw. der Senderwicklung 180 und der ersten Empfängerwicklung 178 bewegen, decken die Unterbrecher 170 entweder alle "+" Schleifen 191a und keine der "-" Schleifen 191b, sich ändernde Anteile der "+" Schleifen 191a und der "-" Schleifen 191b oder aber alle "-" Schleifen 191b und keine der "+" Schleifen 191a ab.

In Fig. 5A ist der Fall gezeigt, daß die Unterbrecher 170 alle "-" Schleifen 191b und keine der "+" Schleifen 191a der ersten Empfängerwicklung 178 abdecken. Die Senderwicklung 180 ist induktiv mit den Unterbrechern 170 gekoppelt und induziert Wirbelströme in diesen Punkt. Als Ergebnis erzeugen die Unterbrecher 170 Magnetfelder, die dem Sender-Magnetfeld entgegenwirken, das durch die "-" Schleifen 191b hindurchläuft. Somit ist der Netto-Magnetfluß, der durch die "-" Schleifen 191b verläuft, kleiner als der Netto-Magnet-Fluß, der durch die "+" Schleifen 191a verläuft. Die "-" Schleifen 191b erzeugen daher eine kleinere induzierte EMK als die "+" Schleifen 191a. Als Folge hiervon erzeugt die erste Empfängerwicklung 178 einen Netto-Strom mit "positiver" Polarität und eine entsprechende Netto-Spannung an den Ausgangsanschlüssen 185 und 187 der ersten Empfängerwicklung 178.

Das Ausgangssignal ändert sich über die Zeit hinweg, da die Senderwicklung 180 ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld erzeugt. Die Amplitude und die Polarität des sich zeitlich ändernden Ausgangssignal relativ zu dem eingangsseitigen Signal geben die relative Position zwischen dem Lesekopf 164 und der Skala 104. In Fig. 5C ist dargestellt, wie sich die Amplitude und die Polarität des Ausgangssignals ändern, wenn sich die Position der Skala 104 relativ zu dem Lesekopf 164 ändert.

Die anfängliche Spitze in der in Fig. 5C gezeigten Wellenform ist ein Beispiel für eine Amplitude mit positiver Polarität, die an den Anschlüssen 185 und 187 der ersten Empfängerwicklung 178 abgegeben wird. Die Polarität zeigt die zeitliche Phase des sich zeitlich verändernden Ausgangssignals relativ zu dem eingangsseitigen Signal an. Die Polarität des Ausgangssignals befindet sich entweder in Phase mit dem Eingangssignal oder ist relativ zu diesem invertiert (das heißt um 180° phasenverschoben).

In Fig. 5B ist die Skala 104 derart verschoben gezeigt, daß die Unterbrecher 170 alle "+" Schleifen 191a überlappen, jedoch keine der "-" Schleifen 191b überdecken. In dieser Relativposition wirken die in den Unterbrechern 170 erzeugten, induzierten Ströme dem Magnetfluß des Sender-Magnetfelds entgegen, der durch die "+" Schleifen 191a hindurchläuft. Die "-" Schleifen 191b erzeugen somit eine größere elektromotorische Kraft EMK als die "+" Schleifen 191a. Als Folge hiervon erzeugt die erste Empfängerwicklung 178 einen Netto-Strom und eine Netto-Spannung mit negativer Polarität an ihren Ausgangsanschlüssen 185 und 187. Das anfängliche Tal in der in Fig. 5C gezeigten Wellenform stellt ein Beispiel einer negativen Polarität aufweisenden Amplitude dar, die an den Anschlüssen 185 und 187 der ersten Empfängerwicklung 178 erzeugt wird.

Wenn die Unterbrecher 170 die "-" Schleifen 191b vollständig überlappen, wie dies in Fig. 5A gezeigt ist, weist das resultierende Ausgangssignal maximale positive Amplitude auf, wie sie durch die Spitzen in der Wellenform gemäß 5C veranschaulicht ist. Wenn die Unterbrecher im Gegensatz hierzu die "+" Schleifen 191a gemäß der Darstellung in Fig. 5B vollständig überlappen, weist das resultierende Ausgangssignale maximale

negative Amplitude auf, die durch die Täler in der Wellenform gemäß 5C veranschaulicht ist.

Wenn sich die Unterbrecher 170 entlang der Meßachse 300 zwischen der in Fig. 5A gezeigten Position und der in Fig. 5B veranschaulicht Lage bewegen, ändert sich die Amplitude der Wellenform gemäß Fig. 5C kontinuierlich. Insbesondere weist die Amplitude der Wellenform gemäß Fig. 5C den Wert null auf, wenn die Unterbrecher 170 exakt eine Hälfte jeder der "+" Schleifen 191a und der "-" Schleifen 191b überlappen. Ausgehend von dieser Position wird die Amplitude des Ausgangssignals der Empfängerwicklung zunehmend positiv bzw. negativ, wenn sich die Unterbrecher 170 näher zu der in Fig. 5A bzw. in Fig. 5B gezeigten Position bewegen.

Bei dem ersten Ausführungsbeispiel des Lesekopfs 164, das in Fig. 3 gezeigt ist, sind zwei Empfängerwicklungen 178 und 179 vorgesehen, die einen gegenseitigen Abstand von einem viertel der Skalen-Wellenlänge 193 aufweisen. Dies bedeutet, daß die zweite Empfängerwicklung 179 die erste Empfängerwicklung 178 überlappt und um ein viertel der Skalen-Wellenlänge 193 versetzt ist. Somit überlappt jede "+" Schleife 192a der zweiten Empfängerwicklung 179 einen Abschnitt einer "+" Schleife 191a und einen Abschnitt einer "-" Schleife 191b der ersten Empfängerwicklung 178. In gleichartiger Weise überlappt jede "-" Schleife 192b der zweiten Empfängerwicklung 179 einen Abschnitt einer "+" Schleife 191a und einen Abschnitt einer "-" Schleife 191b der ersten Empfängerwicklung 178.

Isolierende Durchgänge ("Vias") oder Überquerungs-Durchgänge sind in geeigneter Weise an oder in dem Substrat 192 entsprechend angeordnet, um hierdurch die erste Empfängerwicklung 178 elektrisch gegenüber der zweiten Empfängerwicklung 179 zu isolieren. Da die erste und die zweite Empfängerwicklung 178 und 179 in einem Abstand von einem viertel einer Skalen-Wellenlänge 193 angeordnet sind, sind die von der ersten und der zweiten Empfängerwicklung 178 und 179 abgegebenen Signale räumlich um 90° phasenverschoben. Dies bedeutet, daß die Amplituden der von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegebenen Signale sinusförmige Muster bilden, die von der jeweiligen Position abhängen. Insbesondere ist das sinusförmige Muster der zweiten Empfängerwicklung 179 räumlich um 90° gegenüber dem sinusförmigen Muster verschoben, das von der ersten Empfängerwicklung 178 erzeugt wird. Die die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung bewirkende elektronische Schaltung 166 erfaßt daher die Beziehung zwischen den Signalen, die von der Empfängerwicklung 178 und der Empfängerwicklung 179 abgegeben werden. Anhand einer Analyse dieser Beziehung ermittelt die die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung bewirkende elektronische Schaltung 166 die Richtung, in der sich der Lesekopf 164 relativ zu der Skala 104 bewegt. Wie vorstehend angegeben, ändern sich die Amplituden der von den Wicklungen 178 und 179 abgegebenen Signale in sinusförmiger Weise in Abhängigkeit von der Position des Lesekopfs 164 relativ zu der Skala 104. Folglich erkennt die elektronische Schaltung 166 die Position des Lesekopfs 164 mit Bezug zu der Skala 104 aufgrund der nachfolgenden Gleichung:

$$p = \frac{\tan^{-1}(S_1 / S_2)}{2\pi} \lambda + n\lambda$$

Hierbei bezeichnen:

p die Position;

λ die Skalen-Wellenlänge 193;

n eine ganze Zahl, die die Anzahl von vollständig durchwanderten Wellenlängen 193 angibt;

S1 und S2 die Amplituden und die Vorzeichen der Ausgangssignale, die von den Empfängerwicklungen 178 bzw. 179 jeweils aufgenommen bzw. erzeugt werden; und

" $\tan^{-1}$ " die invertierte Tangens-Funktion, die einen Winkel zwischen null und  $2\pi$  als Funktion des Verhältnisses zwischen S1 und S2 definiert.

Die Vorzeichen von S1 und S2 legen in Übereinstimmung mit der nachfolgenden Tabelle 1 fest, in welchem Quadranten der Winkel liegt.

Tabelle 1

S1	S2	$\tan^{-1}(S_1/S_2)$
+	+	0 bis $\pi/2$
+	-	$\pi/2$ bis $\pi$
-	-	$\pi$ bis $3\pi/2$
-	+	$3\pi/2$ bis $2\pi$

Zur Verbesserung der Genauigkeit der Schieblehre 100 und/oder zur Verringerung der Anforderungen an die analoge Signalverarbeitung durchführende, für das Ausgangssignal der Empfängerwicklung(en) vorgesehene Verarbeitungsschaltung kann der Lesekopf 164 drei oder mehr sich überlappende Empfängerwicklungen enthalten. Auch wenn ein Lesekopf 164, der drei oder mehr sich überlappende Empfängerwicklungen enthält, schwieriger herzustellen ist, stellt er in Kombination mit gewissen Signalverarbeitungstechniken eine noch genauere Positionsermittlung bereit als ein Lesekopf 164, der lediglich zwei sich überlappende Empfängerwicklungen aufweist. Solche mit einer Mehrzahl von Wicklungen ausgestattete Leseköpfe weisen vorzugsweise

gleiche Phasenverschiebung auf. Bei einer Anzahl m von Wicklungen ist die Phasenverschiebung zum Beispiel gleich  $180^\circ/m$ .

Die die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung bewirkende elektronische Schaltung 166 ist in Fig. 7 in größeren Einzelheiten gezeigt. Die elektronische Schaltung 166 löst die Gleichung (1) bzw. arbeitet nach dieser und steuert den elektronischen Betrieb der Schieblehre 100. Wie in den Fig. 1 und 2 gezeigt ist, ist die elektronische Schaltung 166 an dem Substrat 162 als ein Teil der Aufnehmeranordnung 160 angebracht. Die elektronische Schaltung 166 ist mit dem Lesekopf 164, den Schaltern 134 und 136 und der Anzeige 138 in herkömmlicher Weise verbunden, wobei ein aus einem Elastomer-Material hergestellter Verbinder 165 für die Verbindung mit den Anschlüsse der Anzeige vorgesehen ist.

Wie in den Fig. 1, 6, 7 und 16 gezeigt ist, werden bei der die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung bewirkenden elektronischen Schaltung 166 ein programmierter Mikroprozessor oder ein Mikrocontroller und peripherie integrierte Schaltungselemente eingesetzt. Die elektronische Schaltung 166 kann allerdings auch als ein ASIC-Baustein oder eine andere integrierte Schaltung, als eine fest verdrahtete elektronische oder logische Schaltung wie etwa eine aus diskreten Elementen bestehende Schaltung, als programmierte logische Einrichtung wie etwa als PLD, PLA oder PAL, oder in anderer Form ausgeführt sein. Ganz allgemein kann jede beliebige Vorrichtung, die eine Maschine mit endlichen Zuständen (finite-state-machine) unterstützt, die zur Realisierung der in den vorliegenden Unterlagen beschriebenen Signalverarbeitungs- und Anzeige-Funktionen im Stande ist, zur Realisierung der elektronischen Schaltung 166 eingesetzt werden.

Die elektronische Schaltung 166 weist vorzugsweise einen Mikroprozessor 226, der ein Signal von einem Analog/Digital-Wandler 224 aufnimmt und Steuersignale für die Anzeige 138 erzeugt und an diese abgibt, den Analog/Digital-Wandler 224, einen Schalter 225, einen Signalgenerator 200 und eine Verzögerungsschaltung 219 auf. Das von der Verzögerungsschaltung 219 abgegebene Ausgangssignal wird an die Steuereingänge einer ersten Abtast- und Halteschaltung 217 und einer zweiten Abtast- und Halteschaltung 218 angelegt.

Jeder der Ausgänge der ersten und zweiten Abtast- und Halteschaltung 217 und 218 ist jeweils mit einem der Eingangsanschlüsse des Schalters 225 verbunden. Der Ausgang des Schalters 225 ist an den Eingang des Analog/Digital-Wandlers 224 angeschlossen. Die Eingänge der ersten und zweiten Abtast- und Halteschaltung 217 und 218 sind jeweils mit den Ausgangsanschlüssen 185 bzw. 188 der ersten bzw. der zweiten Empfängerwicklung 178 und 179 verbunden.

Die jeweils anderen Ausgangsanschlüsse 187 und 186 der ersten bzw. der zweiten Empfängerwicklung 178 und 179 sind mit Masse (Massepotential) verbunden. Der Ausgang des Signalgenerators 200 ist an den Anschluß 197 der Senderwicklung 180 angeschlossen, während der andere Anschluß 198 der Senderwicklung 180 gleichfalls mit Masse verbunden ist.

Zur Durchführung einer Positionsmessung legt die elektronische Schaltung 166 ein elektrisches Erregungssignal an die Senderwicklung 180 des Lesekopfs 164 an.

Wie in Fig. 7 gezeigt ist, weist die erste Abtast- und Halteschaltung 217 einen Pufferverstärker 216 auf, dessen Ausgang mit einem der Anschlüsse des Schalters 225 verbunden ist. Der Ausgangsanschluß 185 der ersten Empfängerwicklung 178 ist über einen Schalter 221 mit dem Eingang des Pufferverstärkers 216 verbunden. Der Steueranschluß des Schalters 221 ist an die Verzögerungsschaltung 219 angeschlossen und nimmt das Steuersignal für den Abtast- und Haltevorgang auf. Ein Kondensator 230 ist zwischen Masse und den Eingangsanschluß des Pufferverstärkers 216 geschaltet.

In gleichartiger Weise sind ein Pufferverstärker 222, ein Schalter 223 und ein Kondensator 232 der zweiten Abtast- und Halteschaltung 218 zwischen die Verzögerungsschaltung 219, den anderen Anschluß des Schalters 225, den Ausgangsanschluß 188 der zweiten Empfängerwicklung 179 und Masse geschaltet.

Wie in Fig. 7 sowie in größeren Einzelheiten in Fig. 8 gezeigt ist, ist der Mikroprozessor 226 an das Gate eines Transistors 210 des Signalgenerators 200 angeschlossen. Eine Versorgungsspannung V+ ist über einen Vorspannwiderstand bzw. Vorwiderstand 212 mit dem Drain des Transistors 210 verbunden. Die Source des Transistors 210 ist an Masse angeschlossen.

Durch einen Kondensator 214 und die Senderwicklung 180 ist eine LC-Serienschaltung gebildet, die zwischen das Drain des Transistors 210 und Masse geschaltet ist. Wenn der Transistor 210 ausgeschaltet ist, ist der Kondensator 214 über den Widerstand 212 mit der Versorgungsspannung V+ verbunden und wird auf die Versorgungsspannung V+ aufgeladen. Die Versorgungsspannung wird vorzugsweise durch eine geeignete, nicht gezeigte Spannungsquelle wie etwa eine Batterie bereitgestellt. Die Spannungsversorgung V+, der Transistor 210, der Widerstand 212 und der Kondensator 214 bilden gemeinsam die erste Ausführungsform der Signalgeneratorschaltung 200 in der elektronischen Schaltung 166.

Zur Einschaltung des Transistors 210 legt der Mikroprozessor 226 einen kurzen Impuls an das Gate des Transistors 210 an. Wenn der Transistor 210 eingeschaltet ist, ist der Kondensator 214 über den Transistor 210 mit Massepotential verbunden. Da sich die Kondensatorspannung bzw. Kondensatorladung nicht abrupt ändern kann, wird die Spannung an dem Knoten A zwischen dem Kondensator 214 und der Senderwicklung 180 auf negativen Wert gezogen.

Der Kondensator 214 und die Senderwicklung 180 treten dann miteinander bei einer Frequenz in Resonanz, die durch den Kapazitätswert des Kondensators 214 und den Induktivitätswert der Senderwicklung 180 bestimmt ist.

Während jeder Abtastperiode des Ausgangssignals der Empfängerwicklung wird der Kondensator 214 entladen und anschließend erneut geladen. Damit eine ausreichende Genauigkeit und Fähigkeit zur Verfolgung der Bewegung bei dem mit niedriger Leistung und induziertem Strom arbeitenden Wandler, der bei dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 eingesetzt wird, erzielt wird, ist eine Abtastfrequenz von ungefähr 1 kHz bevorzugt. Der Kondensator 214 weist vorzugsweise einen Wert von 1 nF auf, wobei die Versorgungsspannung V+ vorzugsweise einen Wert von 3 V besitzt.

5  
Die Ladung (in Coulomb), die durch die Versorgungsspannung  $V_+$  bereitgestellt wird, ist gleich dem Kapazitätswert des Kondensators 214, multipliziert mit der Änderung der Spannung an dem Kondensator (Coulomb = Farad Volt). Demzufolge ist die durch den Kondensator 214 gespeicherte Ladung gleich dem Kapazitätswert des Kondensators 214, das heißt 1 nF, multipliziert mit der Spannung an dem Kondensator, das heißt 3 V, und beträgt somit 3 nC.

10  
Der Kondensator entlädt sich, und lädt sich wieder auf, während jeder Abtastperiode, die bei einer Abtastrate von 1 kHz gleich 1 ms ist. Der Strom ist hierbei die Ladung, geteilt durch die Zeit (Ampere = Ladung/Sekunde). Demgemäß ist der durchschnittliche Strom, der von der Stromquelle während eines Abtastintervalls gezogen wird, gleich  $3 \mu\text{A}$  ( $3 \text{nC}/1 \text{ms} = 3 \mu\text{A}$ ). Drei Mikroampere ist selbst für einen Batterie gespeisten Wandler ein sehr geringer Strom.

15  
Aufgrund der gewählten Schaltungskonfiguration ermöglicht es der Signalgenerator 200, daß der Wandler intermittierend ein starkes Ausgangssignal (mit maximal ungefähr 60 mV) an den Anschlüssen 185 bis 188 der Empfängerwicklungen 178 und 179 erzeugt. Dennoch benötigt die induktive Schieblehre gemäß der vorliegenden Erfahrung nur einen sehr geringen durchschnittlichen Strom selbst bei der gewünschten, raschen Abtastrate von 1 kHz, und zwar wegen der bei der vorliegenden Erfahrung eingesetzten Schaltungs- und Wandler-Ausgestaltung und wegen der Tatsache, daß das Trebersignal ein sehr kurzer Impuls ist und mit einem kleinen Tastverhältnis versehen sein kann. Bei einer in der Praxis einsetzbaren, verkaufsfähigen elektronischen Schieblehre ist ein kleiner durchschnittlicher Strom erforderlich.

20  
Zur Verringerung des Stromverbrauchs auf ein Mindestmaß sollte der an den Transistor 210 angelegte Eingangsimpuls so kurz wie möglich sein, so daß die Ladung, die aufgrund des Vorwiderstands 212 verloren geht, so gering wie möglich ist. Bei dem vorstehend erläuterten Beispiel ist der mittlere, durch den Widerstand 212 fließende Strom lediglich bei  $0.3 \mu\text{A}$ , wenn die Impulslänge gleich 1 ms ist und der Widerstand 212 einen Wert von  $10 \text{k}\Omega$  besitzt. Generell ist bei der vorliegenden Erfahrung der durchschnittliche Strom, der zum Laden des Kondensators 214 eingesetzt wird, vorzugsweise kleiner als  $75 \mu\text{A}$ , und insbesondere kleiner als  $10 \mu\text{A}$ .

25  
Wie in Fig. 7 gezeigt ist, sind die Kondensatoren 230 und 232 jeweils elektrisch parallel zu den Empfängerwicklungen 178 und 179 geschaltet. Die Kapazitäten der Kondensatoren 230 und 232 bilden mit den Induktivitäten der Empfängerwicklungen 178 und 179 Resonanzschaltungen. Falls die Resonanzfrequenz dieser Resonanzschaltungen gleich groß ist wie die Resonanzfrequenz der Sender-Resonanzschaltung, ist die Stärke des Signals, das von den Empfängerwicklungen abgegeben wird, vergrößert und es ist unerwünschtes Rauschen aus den Signalen ausgefiltert.

30  
Da die als Induktivität wirkende Senderwicklung 180 und der Kondensator 214 eine LC-Resonanzschaltung bilden, wird eine an einem Knoten A gemessene Übergangsspannung abfallendes Resonanzverhalten aufweisen, wie es in Fig. 9 gezeigt ist. Das Übergangs-Spannungssignal ruft einen entsprechenden Stromfluß in der Senderwicklung 180 hervor. Dieser Stromfluß ruft seinerseits einen sich ändernden Magnetfluß hervor, der rechtwinklig zu den Schleifen 191 und 192 der Empfängerwicklungen 178 bzw. 179 verläuft.

35  
Die Empfängerwicklungen 178 und 179 weisen jeweils zwei Leiterabschnitte auf. Wie in Fig. 7 gezeigt ist, sind diese Abschnitte an räumlichen Phasenpositionen angeordnet, die bei der ersten Empfängerwicklung 178  $0^\circ$  und  $180^\circ$  entsprechen, und bei der zweiten Empfängerwicklung 179  $90^\circ$  und  $270^\circ$  entsprechen. Wie vorstehend erläutert, wird ein Strom in den Unterbrechern 170 induziert, wenn sich die Skala 104 und die Unterbrecher 170 in ihrer jeweiligen Position befinden. Das von diesem induzierten Strom herrührende Feld führt zu einer Netto-EMK in den Empfängerwicklungen 178 und 179.

40  
Die Grad-Angaben in Fig. 7 ( $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ ) entsprechen der Position der unterschiedlichen Abschnitte der Empfängerwicklungen 178 und 179 relativ zu einer Nennposition. Die serielle Verbindung der beiden Hälften der ersten Empfängerwicklung 178 führt zum Beispiel dazu, daß die Spannung an dem Ausgang der ersten Empfängerwicklung 178 eine bestimmte Polarität aufweist, wenn sich die Unterbrecher 170 in der Position  $0^\circ$  befinden. Die Spannung an dem Ausgang der ersten Empfängerwicklung 178 weist die entgegengesetzte Polarität auf, wenn sich die Unterbrecher 170 in der Position  $180^\circ$  befinden.

45  
Die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegebenen Signale werden an die zur Signalverarbeitung und Anzeigesteuerung dienende elektronische Schaltung 166 abgegeben. Die elektronische Schaltung 166 analysiert die Signale zur Ermittlung des Abstands zwischen den Klauen bzw. Backen 108 und 116, der gleich dem Abstand zwischen den Backen 110 und 118 ist. Die elektronische Schaltung 166 ist ihrerseits mit der Anzeige 138 über den herkömmlichen, elastomeren bzw. mit Elastomer-Material umgossenen Leiter bzw. Verbinde 165 verbunden und legt an die Anzeige 138 ein Trebersignal an, um hierdurch eine digitale Anzeige des gemessenen Abstands zu erzeugen.

50  
In den Fig. 10A bis 10C ist die Spannung dargestellt, die an dem Ausgang der ersten Empfängerwicklung 178 als Reaktion auf die Erregung der Senderwicklung durch eine sich ändernde Spannung, wie sie in Fig. 9 gezeigt ist, induziert wird. Im einzelnen zeigen die Fig. 10A bis 10C die induzierte Spannung für drei unterschiedliche Positionen der Unterbrecher 170 relativ zu den Schleifen 191 der ersten Empfängerwicklung 178. Die Amplitude und die Phase des Empfängersignals hängen von der Position der Skala 104 relativ zu der Empfängerwicklung 178 oder 179 ab.

55  
Das in Fig. 10A gezeigte Empfängersignal weist eine Spitzenamplitude an einem Punkt B auf. Die Spitzenamplitude zeigt an, daß die relative Position zwischen der Skala und der Empfängerwicklung 178 oder 179 eine solche Position ist, bei der sich ein Signal mit maximaler Amplitude ergibt. Erfahrungsgemäß wurde durch Untersuchungen ermittelt, daß das maximale Empfängerausgangssignal an dem Punkt B ungefähr gleich 60 mV ist, wenn der Induktivitätswert der Senderwicklung 180 gleich  $0.5 \mu\text{H}$  ist, der Kapazitätswert des Kondensators 214 gleich 1 nF ist, der Spalt 174 eine Größe von ungefähr 0,5 mm aufweist und eine Versorgungsspannung  $V_+$  von 3 V eingesetzt wird. Die LC-Reihenschaltung, die durch den Kondensator 214 und die Senderwicklung gebildet wird, besitzt eine Resonanzfrequenz von ungefähr 7 MHz.

5 In Fig. 10B ist das Empfängersignal gezeigt, wenn die Skala 104 um  $\frac{1}{4}$  der Wellenlänge 193 gegenüber derjenigen relativen Position verschoben ist, bei der das in Fig. 10A gezeigte Empfängersignal erzeugt wird. Wie aus Fig. 10A ersichtlich wird bei dieser Relativposition zwischen der ersten Empfängerwicklung 178 und den Unterbrechern 170 ein Empfänger-Ausgangssignal erzeugt, das an dem Punkt B eine Amplitude von 0 aufweist. Dieses Signal entspricht einer Position, bei der jeder Unterbrecher 170 gleiche Flächen von benachbarten "+" Schleifen 191a und "-" Schleifen 191b bei der Empfängerwicklung 178 überlappt.

10 Gemäß Fig. 10C ist die Skala um ein weiteres Viertel der Wellenlänge 173 in der gleichen Richtung verschoben, so daß sich eine gesamte Verschiebung von  $\frac{1}{2}$  einer Wellenlänge 193 gegenüber der Relativposition ergibt, bei der das in Fig. 10A gezeigte Empfängersignal erzeugt wird. In dieser Relativlage überlappen sich die Unterbrecher 170 jeweils mit einer Schleife 191, die entgegengesetzte Polarität bezüglich der Schleife 191 aufweisen, die der Fig. 10A entspricht. Demgemäß erzeugt die erste Empfängerwicklung 178 an dem Punkt B ein Empfängersignal, das maximale negative Amplitude besitzt.

15 In den Fig. 11A bis 11G sind die Signale gezeigt, die an unterschiedlichen Punkten in der elektronischen Schaltung 166 auftreten. Wie in den Fig. 11D und 11E dargestellt ist, sind die Unterbrecher 170 relativ zu den Schleifen 191 und 192 derart positioniert, daß die Empfängersignale, die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegeben werden, gleich groß sind und entgegengesetzt verlaufen bzw. entgegengesetzte Polarität aufweisen. Die gleich großen, unterschiedlichen Polarität besitzenden Empfängersignale, die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegeben werden, werden in die Abtast- und Halteschaltung 217 bzw. 218 der elektronischen Schaltung 166 eingespeist.

20 In Fig. 11A ist das Sendesteuersignal gezeigt, das von dem Mikroprozessor 226 an das Gate des Transistors 210 angelegt wird. Wie aus Fig. 11A ersichtlich ist, weist das Sendesteuersignal eine zeitliche Dauer "t" auf. In Fig. 11B ist das resultierende, oszillierende Sendesignal gezeigt, das an die Senderwicklung 180 angelegt wird.

25 Fig. 11C veranschaulicht das Abtast- und Halte-Steuersignal, das von der Verzögerungsschaltung 219 abgegeben wird. Die Verzögerungsschaltung 219 nimmt das in Fig. 11A gezeigte Sendesteuersignal von dem Mikroprozessor 226 zur gleichzeitigen Initiierung bzw. Einschaltung des Abtast- und Halte-Steuersignals auf. Die Zeitdauer des Abtast- und Halte-Steuersignals ist in Abhängigkeit von den Entwurfsparametern der Schaltungs- und Wandlergestaltung gewählt und entweder durch Analyse oder durch Experiment bestimmt. Im einzelnen ist die Dauer derart gewählt, daß die nachlaufende Flanke des Abtast- und Halte-Steuersignals so gut wie möglich zeitlich mit den Amplituden der Empfängersignale zusammenfällt, die den Punkt B erreicht haben, wie es in den Fig. 10A und 10C gezeigt ist. Als Reaktion auf das Abtast- und Halte-Steuersignal, das von der Verzögerungsschaltung 219 abgegeben wird, tasten die erste und die zweite Abtast- und Halteschaltung 217 und 218 jeweils die von der ersten Empfängerwicklung 178 bzw. von der zweiten Empfängerwicklung 179 abgegebenen Signale ab.

30 Durch das Abtast- und Halte-Steuersignal werden die Schalter 221 und 223 im wesentlichen gleichzeitig mit dem Beginn des Sendesignals geschlossen, das an die Senderwicklung 180 angelegt wird. Die Ausgangssignale, die von der ersten und der zweiten Empfängerwicklung 178 und 179 abgegeben werden, treten an den Kondensatoren 230 bzw. 232 auf, und sind in den Fig. 11F bzw. 11G gezeigt.

35 Zu einem Zeitpunkt, der nominell derart gewählt ist, daß er mit dem Zeitintervall bzw. dem Zeitpunkt B übereinstimmt, kehrt das Abtast- und Halte-Steuersignal auf Null zurück, und es öffnen sich die Schalter 221 und 223. Die zu diesem Zeitpunkt an den Kondensatoren 230 und 232 anliegenden Spannungen werden damit gehalten. Generell kann die abgetastete Spannung zu jedem beliebigen Zeitpunkt während der in den Fig. 11D und 11E gezeigten Empfängersignale, mit Ausnahme der Nulldurchgänge, gehalten werden. Der Zeitpunkt B ist der bevorzugte Halte-Zeitpunkt bzw. Abtast-Zeitpunkt und tritt dann auf, wenn das Empfängersignal maximale Stärke aufweist.

40 Wie in den Fig. 11B und 11C gezeigt ist, entspricht dieser Zeitpunkt einem Spitzenvwert der Resonanz-Antwort. Der Zeitpunkt B wird durch die Verzögerungsschaltung 219 festgelegt, die zum Beispiel ein monostabiles Flip-Flop ist, das durch das Sendesteuersignal getriggert wird.

45 Die abgetasteten Spannungen werden an die hohe Eingangsimpedanz aufweisenden Pufferverstärker 216 und 222 angelegt. Die Pufferverstärker 216 und 222 stellen eine Verstärkung bereit und isolieren die Kondensatoren 221 und 223, um die Kondensatoren 221 und 223 daran zu hindern, sich zu entladen. Der Pufferverstärker 216 gibt ein Signal  $S_1$  ab, das dem Empfängersignal entspricht, das von der Empfängerwicklung 178 erzeugt wird, wohingegen der Pufferverstärker 222 ein Signal  $S_2$  erzeugt, das dem Empfängersignal entspricht, das von der Empfängerwicklung 179 abgegeben wird. Die Ausgänge der Pufferverstärker 216 und 222 werden abwechselnd über den Wähl schalter 225 mit dem Analog/Digital-Wandler 224 verbunden. Dieser wandelt die analogen Signale  $S_1$  und  $S_2$  in digitale Signale um.

50 Der Mikroprozessor 226 nimmt das von dem Analog/Digital-Wandler 224 abgegebene digitale Signal auf, berechnet eine Meßposition und gibt entsprechende Signale an die Anzeige 138 ab. Der Mikroprozessor 226 kann die Position der Skala 104 bzw. des Schiebers gemäß einer Vielzahl von Methoden einschließlich der durch die Gleichung (1) definierten Methode auswerten.

55 Die Anzeigetasten-Logik, die Systemsteuer-Logik, die Analyse von Verlagerungen, die eine Wellenlänge überschreiten und weitere, typische Funktionen von elektronischen Schieblehren werden vorzugsweise in der gleichen Art wie bei herkömmlichen, kapazitiven elektronischen Schieblehren, wie etwa bei den Schieblehren, die von Mitutoyo, Brown & Sharp, Sylvac, Starret, usw. hergestellt werden, bereitgestellt. Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die gemessene Distanz auf der Anzeige 138 angezeigt. Die berechnete Meßposition kann auch an andere Systeme über geeignete Verbindungen (nicht gezeigt) abgegeben werden, die gleichartig sind wie diejenigen bei im Handel erhältlichen kapazitiven Schieblehren. Als Beispiel können die berechneten Meßdaten an ein Steuersystem für eine statistische Verarbeitung, oder an eine entfernte Meßanzeige abgegeben werden.

Die die Signalverarbeitung und Anzeigesteuerung bewirkende elektronische Schaltung 166 läßt sich einfach in eine in der Hand gehaltene Schieblehre 100 eingliedern, indem die Elemente der elektronischen Schaltung 166 auf dem Substrat 162 aufgebracht werden. In manchen Fällen kann eine herkömmliche, mehrere Lagen aufweisende, gedruckte Leiterplatte eingesetzt werden, wobei die inneren Lagen des Substrats bzw. der Platte zur Bereitstellung einer herkömmlichen Masseebenen-Abschirmung (nicht gezeigt) zwischen dem Lesekopf 164 und der elektronischen Schaltung 166 eingesetzt werden können. Hierdurch werden unerwünschte Wechselwirkungen zwischen den elektronischen Signalen in diesen Elementen verhindert. 5

Wie in den Fig. 11A—G gezeigt ist, bleibt das Sendesteuersignal für mehrere Spitzenvwerte der Resonanzantwort auf hohem Pegel. Allerdings kann, wie in den Fig. 12A—G gezeigt ist, der Transistor 210 nach einer ausreichenden Zeitdauer abgeschaltet werden, um hierdurch die Abtastung der Kondensatorspannungen zu ermöglichen. Der Transistor 210 muß nicht über die Abtastzeit hinaus eingeschaltet bleiben. 10

Der Transistor 210 kann somit zur Stromsparung abgeschaltet werden, bevor die gespeicherte Energie in der Resonanzschaltung aufgebraucht ist. Vorzugsweise wird, wie in Fig. 12A gezeigt ist, der Transistor 210 zu einem Zeitpunkt C abgeschaltet, zu dem die Spannung an dem Kondensator 214 so nahe wie möglich auf ihren 15 ursprünglichen Wert zurückgekehrt ist. Bei dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel ist dieser ursprüngliche Wert gleich der Batteriespannung V+, wie es in Fig. 12B gezeigt ist.

Es ist auch anzumerken, daß eine ausreichende Zeitspanne zwischen aufeinanderfolgenden Sendesteuerimpulsen vorgesehen werden muß, damit sich der Kondensator 214 wieder vollständig aufladen kann. Wenn die Schaltung, die den Kondensator 214 und den Widerstand 212 aufweist, eine Zeitkonstante  $T_C$  aufweist, sollte die Zeitspanne, die zwischen aufeinanderfolgenden Sendesteuersignalen bereitgestellt wird, das heißt das Impulstervall des Treibersignals, im allgemeinen mindestens das Vierfache der Zeitkonstante  $T_C$  betragen. 20

In Fig. 13 ist ein zweites, mit geringer Leistung arbeitendes Ausführungsbeispiels des Signalgenerators 200 gezeigt. Bei dem ersten Ausführungsbeispiel des Signalgenerators 200 geht Energie über den Vorwiderstand 212 verloren, wenn der Transistor 210 eingeschaltet ist. Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel des Signalgenerators 200 wird ein wesentlicher Teil dieses Energieverlusts vermieden, indem ein aktiver Pull-Up-Schalter bzw. Spannungsanhebe-Schalter 240 zur Vorspannung des Transistors 210 anstelle des Vorwiderstands 212 eingesetzt wird. Der Energieverlust wird hierdurch auf ein Mindestmaß gebracht, da der Widerstand des Spannungsanhebe-Schalters 240 in geöffnetem Zustand sehr viel größer ist als der Widerstandswert des Vorwiderstands 212. 25

Der aktive Spannungsanhebe-Schalter 240 ermöglicht auch eine sehr viel raschere Ladung des Kondensators 214. Folglich ist aufgrund des geringen Einschaltwiderstands des Schalters 240 eine sehr viel höhere Abtastrate möglich, verglichen mit der in den Fig. 7 und 8 gezeigten ersten Ausführungsform des Signalgenerators. Bei der zweiten Ausführungsform des Signalgenerators 200 werden der Schalter 240 und der Transistor 210 durch zwei (Paar) synchrone Steuersignale gesteuert. 30

Der Mikroprozessor 226 erzeugt ein Schaltsteuersignal, das an den Steuerschalter bzw. Schalter 240 und an den Transistor 210 angelegt wird. Das an den Schalter 240 angelegte Schaltsteuersignal liegt auf hohem Pegel, wenn das an den Transistor 210 angelegte Sendesteuersignal niedrigen Pegel besitzt. In diesem Zustand ist der Schalter 240 geschlossen und es wird der Kondensator 214 über die Senderwicklung 180 auf V+ aufgeladen. Das an den Transistor 210 hierbei angelegte Sendesteuersignal liegt auf niedrigem Pegel, so daß der Transistor 210 abgeschaltet ist. 35

Bei dieser Ausgestaltung wird verhindert, daß der Schalter 240 und der Transistor 210 zur gleichen Zeit leiten. Hierdurch wird das Abziehen eines starken Stroms von der Batterie gesperrt und die Lebensdauer der Batterie geschont bzw. verlängert. 40

Wenn der Kondensator 214 geladen ist, öffnet das Schaltsteuersignal den Schalter 240. Anschließend schaltet das an den Transistor 210 angelegte Sendesteuersignal den Transistor 210 ein. Hierbei ist anzumerken, daß der Transistor 210 in abgeschaltetem Zustand bis zu einem Zeitpunkt verbleibt, der nach der Abschaltung des Schalters 240 liegt, so daß der Schalter 240 und der Transistor 210 nicht zur gleichen Zeit leiten. 45

Wenn der Transistor 210 eingeschaltet wird, wird der Kondensator 214 mit Masse verbunden. Der geladene Kondensator 214 und die Senderwicklung 180 bilden eine Resonanzschaltung. Da der Kondensator 214 geladen ist, schwingt die Spannung an der Senderwicklung 180 in Resonanz, wie es in Fig. 9 gezeigt ist. 50

Der entsprechende, durch die Senderwicklung fließende Strom erzeugt auch ein sich änderndes Magnetfeld, das durch die Empfängerwicklungen 178 und 179 fließt. Die Unterbrecher 170 erzeugen somit ein Netto-Signal bzw. Summen-Signal in den Empfängerwicklungen 178 und 179. Die Verzögerungsschaltung 219 steuert die Abtast- und Halteschaltung in Abhängigkeit von dem an dem Transistor 210 angelegten Sendesignal, wie es bereits vorstehend erläutert ist. Die Amplitude und das Vorzeichen des Netto- bzw. Summen-Signals hängen 55 von der Position der Unterbrecher 170 relativ zu den Empfängerwicklungen 178 und 179 ab.

Ein hoher Wert Q (Gütezahl) entspricht geringen Energieverlusten in der Resonanzschaltung. Eine hohe Gütezahl ist deswegen erwünscht, weil die Spannung an dem Kondensator 214 noch näher zu der Batteriespannung V+ zurückschwingt. Falls somit das Sendesteuersignal zu dem Zeitpunkt C abgeschaltet wird, wie es in Fig. 12A und in Fig. 14 gezeigt ist, ist die Spannung  $V_{peak}$  an dem Kondensator 214 lediglich geringfügig niedriger als die Batteriespannung V+. Damit muß die Batterie lediglich eine kleine Ladungsmenge bereitstellen, um hierdurch den Kondensator 214 aufzufüllen bzw. in Vorbereitung für den nächsten Sende/Empfangs-Zyklus wieder aufzuladen. 60

Wie in den Fig. 12F und 12G gezeigt ist, hat das Abschalten des Sendesteuersignals zum Zeitpunkt C keine Auswirkungen auf die durch die Kondensatoren 230 und 232 abgetasteten Signale, da der Transistor 210 bis nach dem Abtastzeitpunkt B eingeschaltet bleibt. 65

Es ist auch möglich, den erfundungsgemäßen Wandler in umgekehrter Weise zu betreiben, das heißt die Sendung mittels der Wicklungen 178 und 179 vorzunehmen und den Magnetfluß in der Wicklung 180 aufzuneh-

men oder zu erfassen. Eine elektronische Schaltung für einen Codierer für diese Betriebsart ist in Fig. 30 gezeigt. Fig. 31 zeigt eine zeitliche Darstellung der Signalen, die den zeitlichen Verlauf der Steuersignale veranschaulicht.

Wie aus Fig. 30 ersichtlich ist, steuert der Mikroprozessor 226 drei Wählerschalter 324, 326 und 328 mit Hilfe des Wählsteuersignals. Wenn das Wählsteuersignal hohen Pegel annimmt, werden die Schalter 326 und 328 in die in Fig. 30 gezeigten Positionen umgeschaltet. Hierbei werden im einzelnen die Wicklung 178 mit dem Signalgenerator 200 verbunden und die Wicklung 180 an die Abtast- und Halteschaltung 217 angeschlossen. Das Steuersignal für die Abtast- und Haltesteuereitung wird ebenfalls an die Abtast- und Halteschaltung 217 geleitet. Nachfolgend gibt der Mikroprozessor 226 einen Sendesteuerimpuls an den Signalgenerator 200 und an die Verzögerungsschaltung 219 ab. Das Signal  $S_1$  wird somit durch den Schalter 221 und den Kondensator 230 abgetastet und gehalten.

Der Mikroprozessor 226 ändert dann das Wählsteuersignal auf niedrigen Pegel, wodurch die Schalter 326 und 328 in ihre anderen Stellungen umgeschaltet werden. Folglich wird die Wicklung 179 mit dem Signalgenerator 200 verbunden und die Wicklung 180 an die Abtast- und Halteschaltung 218 angeschlossen. Das Steuersignal für die Abtast- und Haltesteuereitung wird ebenfalls an die Abtast- und Halteschaltung 218 geleitet. Der Mikroprozessor 226 gibt ein neues Sendesteuerignal an den Signalgenerator 200 und an die Verzögerungsschaltung 219 ab. Das Signal  $S_2$  wird somit durch den Schalter 223 und den Kondensator 232 abgetastet und gehalten.

Der übrige Teil der Signalverarbeitung ist gleich wie derjenige, der vorstehend in Verbindung mit Fig. 7 erläutert ist.

In der in Fig. 30 gezeigten elektronischen Schaltung des Codierers wird ein einziger Signalgenerator eingesetzt, der abwechselnd mit den Senderwicklungen 178 und 179 verbunden wird. Es ist auch möglich, zwei Signalgeneratoren einzusetzen, von denen jeweils einer mit der Senderwicklung 178 bzw. 179 verbunden ist.

Der Mikroprozessor 226 kann eine absolute Positionsmessung innerhalb einer halben Wellenlänge 193 unter Einsatz bekannter Interpolationsmethoden und lediglich einer Empfängerwicklung durchführen. Als Beispiel kann der Mikroprozessor 226, wie in Fig. 15 gezeigt ist, zwischen einer ersten Position d1 und einer zweiten Position d2 innerhalb einer halben Wellenlänge 193 dadurch unterscheiden, daß er die Amplitude und die Polarität des Empfängersignals an den Punkten 387 und 388 jeweils vergleicht.

Der Punkt 387 weist einen Spannungswert V1 auf, wohingegen der Punkt 388 einen Spannungswert V2 besitzt. Die Position d3 entspricht einem Punkt 389 in dem Empfängersignal, das in Fig. 15 gezeigt ist. Der Punkt 389 weist den gleichen Spannungswert V1 wie der Punkt 387 auf. Daher kann der Mikroprozessor 226 den Unterschied in der relativen Lage zwischen der ersten Position d1 und der dritten Position d3 nicht unter Einsatz einer Interpolationsmethode unterscheiden.

Bei den vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen klärt der Mikroprozessor 226 diese unklare Situation, indem er das von der zweiten Empfängerwicklung 179 abgegebene Signal für bekannte Quadratursignal-Analysemethoden einsetzt, wie sie in Gleichung (1) angegeben sind. Bei einer Bewegung über eine Wellenlänge hinaus erfaßt und summiert der Mikroprozessor 226 die Anzahl von durchwanderten Wellenlängen, ausgehend von einer bekannten Startposition, in Übereinstimmung mit bekannten Methoden, um hierdurch die relativen Positionen des Lesekopfs 164 und der Skala 104 zu erkennen.

Der Mikroprozessor 226 gibt Impulse mit einer Abtastfrequenz von ungefähr 1 kHz ab, um hierdurch ausreichende Genauigkeit und Tauglichkeit zur Bewegungsverfolgung bereitzustellen. Damit der Leistungsverbrauch verringert wird, hält der Mikroprozessor 226 weiterhin den Tastzyklus bzw. das Tastverhältnis gering, indem die Impulse relativ kurz festgelegt werden. Als Beispiel beträgt eine typische Impulsbreite bei der vorstehend angegebenen Abtastfrequenz 1 kHz ungefähr 0,1 bis 1,0  $\mu$ s. Dies bedeutet, daß das Tastverhältnis der Impulse, die eine Abtastperiode von 1 ms aufweisen, gleich 0,01% bis 0,1% ist.

Die Resonanzfrequenz des Kondensators 214 und der Wicklung 180 ist hierbei vorzugsweise derart ausgewählt, daß der Spitzenwert der Spannung an dem Kondensator 214 vor dem Ende des Impulses mit einer Impulsbreite von 1,0  $\mu$ s oder weniger, auftritt. Folglich liegt die Resonanzfrequenz im Bereich von mehreren Megahertz. Der entsprechende Magnetfluß wird daher mit einer Frequenz von mehr als 1 MHz und typischerweise mit mehreren Megahertz moduliert. Dies ist erheblich höher als die Frequenzen bei herkömmlichen induktiven Wandlern.

Erfnungsgemäß wurde erkannt, daß die bei diesen Frequenzen erzeugten Wirbelströme in den Unterbrechern 170 einen starken Unterbrechungseffekt bzw. Zerstörungseffekt auf den Magnetfluß ausüben. Die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegebenen elektromotorischen Kräfte EMK sprechen daher stark auf Änderungen der Position der Unterbrecher an. Dieser Effekt ergibt sich trotz des niedrigen Tastverhältnisses und der geringen Leistung des Impulssignals. Die Stärke der Antwort, kombiniert mit dem niedrigen Tastverhältnis und der geringen Leistungsaufnahme, erlaubt es der Schieblehre 100, Messungen durchzuführen, bei denen der Signalgenerator 200 und der übrige Teil der die Signalverarbeitung und Anzeigesteuereitung bewirkenden elektronischen Schaltung 166 einen durchschnittlichen Strom von vorzugsweise weniger als 200  $\mu$ A, und insbesondere von weniger als 75  $\mu$ A aufnehmen. Es ist hierbei anzumerken, daß mit "durchschnittlicher Strom" bzw. "mittlerer Strom" hierbei die gesamte Ladung gemeint ist, die bei einem oder mehreren Meßzyklen, dividiert durch die Dauer des einen oder der mehreren Meßzyklen verbraucht wird, während sich die Schieblehre im normalen Einsatz befindet.

Die Schieblehre 100 kann daher mit einer adäquaten Batterie-Lebensdauer betrieben werden, wobei drei oder weniger, kommerziell erhältliche Miniatur-Batterien oder eine Solarzelle eingesetzt werden.

Bei einem Wandler des inkrementalen Typs liegt die Rate, mit der die Wandlersignale abgetastet werden, bei ungefähr 1000 Abtastwerten je Sekunde. Die hohe Abtastrate ist erforderlich, um mit der Anzahl von durchwanderten Wellenlängen Schritt zu halten, wenn die Schieberanordnung 120 rasch bewegt wird. Jedoch muß der Mikroprozessor 226 die Anzeige 138 mit einem neuen Meßwert lediglich ungefähr 10mal je Sekunde aktualisieren. Daher läßt sich der Leistungsverbrauch der Schieblehre noch weiter verringern, wenn der Mikroprozessor

226 und der Analog/Digital-Wandler 224 von der Aufgabenstellung der Durchführung von hoher Auflösung besitzenden Positionsmessungen für einen großen Teil der 1000 Abtastwerte je Sekunde entbunden werden. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß die Anzahl von durchwanderten Wellenlängen verfolgt bzw. ermittelt wird, ohne Positionsmessungen mit hoher Auflösung durchzuführen.

Fig. 27 zeigt ein Beispiel für die elektronische Schaltung des Codierers, bei der eine Wellenlängen-Verfolgungseinrichtung bzw. eine Detektoreinrichtung 320 die Anzahl von Wellenlängen ermittelt. Die Detektoreinrichtung 320 nimmt nur sehr geringe Leistung auf. Bei Vorhandensein einer solchen Detektoreinrichtung kann der Mikroprozessor 226 in einen Schlaf-Modus übergehen, wenn er keine Positionsmessung mit hoher Auflösung durchführt und folglich die Anzeige 136 nicht aktualisiert, wodurch Strom gespart wird. Eine Sende/Empfangs-Folgesteuereinrichtung 322 erzeugt die Steuersignale für den Signalgenerator 200 und für die Abtast- und Halteschaltungen 217 und 218 mit Hilfe herkömmlicher Schaltungsmittel. Die Folgesteuereinrichtung 322 erzeugt weiterhin einen Abtast- oder Abfrageimpuls (strobe pulse) für die Detektoreinrichtung 320 und gibt an den Mikroprozessor 226 ein Steuersignal zur Aktualisierung der Anzeige ab.

Die Detektoreinrichtung 320 enthält zwei analoge Vergleicher 310 und 312, einen Quadratur-Zähler 318 und eine logische Steuereinheit 314. Die Vergleicher 310 und 312 erfassen die Nulldurchgänge der Signale  $S_1$  und  $S_2$ , wobei eine Referenzspannung  $V_{ref}$  an jeden der Vergleicher 310 und 312 angelegt ist. Die Zustände der Ausgangssignale der Vergleicher 310 und 312 werden in den Quadratur-Zähler 318 auf einen durch den an die Detektoreinrichtung 320 angelegten Abfrageimpuls gebildeten Befehl hin dann, wenn die Ausgangssignale der Vergleicher stabilisiert sind, eingelesen. Der Quadratur-Zähler 318 zählt die Anzahl von vollständig durchlaufenden Wellenlängen und ist ein Zweirichtungszähler (Aufwärts/Abwärts-Zähler), der die Richtung der Bewegung der Schieberanordnung 120 aufgrund der Tatsache erfassen kann, daß die Signale  $S_1$  und  $S_2$  in Quadratur-Beziehung stehen, das heißt um 90° jeweils gegeneinander phasenverschoben sind. Der Quadratur-Zähler 318 ist eine im Stand der Technik bekannte Schaltung. Quadratur-Zähler werden zum Beispiel üblicherweise zur Erfassung der Position von optischen Dreh-Codierern und linearen Skalen eingesetzt.

Im Betrieb besitzt der Wellenlängen-Zählstand, der in dem Quadratur-Zähler 318 gespeichert ist, Priorität über den Wellenlängen-Zählstand, der in dem Mikroprozessor 226 gehalten ist. Jedoch bestimmt der Mikroprozessor weiterhin die relative Position innerhalb des Bereichs einer Wellenlänge. Die logische Steuereinheit 314 gibt Steuersignale an den Mikroprozessor 226 zur Umschaltung des Mikroprozessors 226 zwischen einem Schlaf-Modus und einem aktiven Modus ab. Der Mikroprozessor 226 wird insbesondere dann in den Schlaf-Modus versetzt, wenn die Schieblehre entweder während eines vorgegebenen Zeitintervalls nicht benutzt worden ist, oder wenn sich die relative Position der Schieblehre bzw. der Schieberanordnung sehr rasch ändert. In diesem letzteren Fall kann der Quadratur-Zähler 318 im Unterschied zu dem Mikroprozessor 226 mit einer solchen raschen Bewegung Schritt halten. Da der Mikroprozessor in diesem Fall nicht Schritt halten kann, besteht kein Grund, ihn einzusetzen. Erst wenn die Bewegung ausreichend verlangsamt ist, macht es Sinn, den Mikroprozessor einzusetzen. Diese Arbeitsweise der logischen Steuereinheit und der Aufbau zur Realisierung einer solchen Steuereinheit ist im Stand der Technik bekannt und wird daher nicht in größeren Einzelheiten beschrieben.

In der Detektoreinrichtung 320 ist weiterhin eine nicht gezeigte "Entprell"-Logik zur Verhinderung von fehlerhaften, durch Rand-Jitter-Effekte bzw. Rand-Instabilitäts-Effekte hervorgerufenen Messungen enthalten. Da eine solche Entprell-Logik ebenfalls bekannt ist, wird sie nicht näher beschrieben.

Fig. 28 zeigt ein Signal-Zeitdiagramm der von der Folgesteuereinrichtung 322 abgegebenen Signale und von zugehörigen Signalen. Fig. 29 zeigt das Sendesteuersignal und das Steuersignal für die Aktualisierung der Anzeige.

Wenn der Mikroprozessor 226 die Anzeige 138 aktualisiert (zum Beispiel 10mal je Sekunde), berechnet er die Anzahl von durchlaufenen Wellenlängen, ausgehend von der "Null"-Position. Hierbei liest er die Anzahl von vollen, durchlaufenen Wellenlängen von dem Quadratur-Zähler 318. Der Mikroprozessor 226 berechnet dann den Bruchteil einer durchwanderten Wellenlänge auf der Grundlage der Signale  $S_1$  und  $S_2$ , die von dem Analog/Digital-Wandler 224 abgegeben werden. Der Wellenlängen-Bruchteil wird zu der Anzahl von vollständig durchlaufenen Wellenlängen hinzuaddiert, und es wird das Ergebnis mit der Wellenlänge multipliziert, um hierdurch den Positionswert zu ermitteln, der dann zu der Anzeige gespeist wird.

Die Folgesteuereinrichtung 322 steuert die Abtastung der Wandlersignale, und es zählt die Detektoreinrichtung die Anzahl von durchlaufenen Wellenlängen, und zwar jeweils ohne irgendwelche Hilfe seitens des Analog/Digital-Wandlers 224 oder seitens des Mikroprozessors 226. Bei diesem Ausführungsbeispiel führt die Schieblehre eine "quasi-absolute" Messung durch, indem lediglich der Mikroprozessor 226, der Analog/Digital-Wandler 224 und die Anzeige 138 abgeschaltet werden, wenn die Schieblehre abgeschaltet wird, so daß die Abtastschaltungen und die Detektoreinrichtung 318 dennoch weiterhin aktiv sind. Wenn die Schieblehre erneut eingeschaltet wird, ist die Detektoreinrichtung 318 aktiv geblieben und gibt Informationen hinsichtlich der Wellenlänge bzw. der Wellenlängennummer ab, innerhalb derer die Schieblehre positioniert ist, und zwar selbst dann, wenn die Position während der Zeitspanne der Abschaltung der Schieblehre verschoben worden ist. Folglich kann die Position der Schieblehre unter Bezugnahme auf die ursprüngliche "Null"-Position trotz der Tatsache, daß die Funktionen zur Messung mit hoher Auflösung und zur Anzeige bei der Schieblehre abgeschaltet worden waren, berechnet und angezeigt werden.

In den Fig. 16 bis 18 ist ein drittes Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen elektronischen Schieblehre gezeigt, bei der der Lesekopf 164 und die die Signalverarbeitung und die Anzeigesteuerung bewirkende elektronische Schaltung 166 getrennt ausgebildet sind. Durch diese Trennung des Lesekopfs 164 von der elektronischen Schaltung 166 kann größerer Raum zwischen den elektronischen Komponenten und den Lesekopfelementen bereitgestellt werden, wodurch unerwünschtes elektrisches Übersprechen verringert werden kann. Bei dieser Modifikation läßt sich auch die Herstellung der Einheit kostengünstiger durchführen. Ferner

5 kann eine integrale bzw. einstückige Ausbildung der Unterbrecher 170 mit dem Stab 102 erwünscht sein.

Bei diesem dritten Ausführungsbeispiel sind die Unterbrecher 170 integriert in einem leitenden Stab 102' ausgebildet, wie es in den Fig. 16 und 18 gezeigt ist. Die obere Fläche des leitenden Stabs 102' ist derart geätzt oder bearbeitet, daß gleichmäßig beabstandete Rillen 220 gebildet sind, zwischen denen erhabene Abschnitte des leitenden Stabs 102' verblieben sind. Diese nach oben vorstehenden, erhabenen Abschnitte des leitenden Stabs 102' bilden somit die Unterbrecher 170. Eine isolierende Schicht 172 ist auf der oberen Fläche des leitenden Trägers 102' ausgebildet und bedeckt die Unterbrecher 170 und die Rillen 220. Ein Luftspalt 174 ist zwischen der isolierenden Beschichtung 167 des Lesekopfs 164 und der isolierenden Schicht 172 vorgesehen. Die Größe des Luftspalts 174 ist vorzugsweise gleich groß wie bei dem ersten Ausführungsbeispiel, das heißt liegt in der Größenordnung von 0,5 mm.

10 Wie in Fig. 17 gezeigt ist, wird der Lesekopf 164 durch das Substrat 162 getragen, wie es bereits vorstehend erläutert ist. Jedoch ist die zur Signalverarbeitung und zur Steuerung dienende elektronische Schaltung 166 auf einem separaten Substrat 262 in der Schieberanordnung 120 angebracht. Sowohl das Substrat 162 als auch das Substrat 262 sind durch die Abdeckung 139 umschlossen. Die elastische Dichtung 163 befindet sich mit dem separaten Substrat 262 in Eingriff bzw. Anlage. Ein herkömmlicher, hohe Dichte bzw. Belegungsdichte aufweisender Verbinder 165' verbindet den Lesekopf 164 und die elektronische Schaltung 166.

15 Wie in Fig. 16 dargestellt ist, wird die Leistung für den Betrieb der Schieblehre 100 von einer herkömmlichen Solarzelle 227 bereitgestellt, die an der Oberseite der Abdeckung 139 angebracht ist. Die herkömmliche Solarzelle 227 ist eine im Handel erhältliche Komponente und stellt ausreichende Leistung für den Betrieb der Schieblehre 100 mit dem induktiven, mit geringer Leistung arbeitenden Wandler bereit.

20 Bei dem ersten, zweiten, und dritten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 sind, wie vorstehend erläutert, Fluß-Unterbrecher 170 vorgesehen, die mit dem Lesekopf 164 zur Erzeugung des Meßsignals zusammenwirken. Bei einem vierten Ausführungsbeispiel, das in den Fig. 19 und 20 dargestellt ist, werden anstelle der Fluß-Unterbrecher 170 Fluß-Verstärker 170' eingesetzt, die den durch die benachbarten Abschnitte der Empfängerwicklungen 178 und 179 fließenden Magnetfluß "verstärken" oder vergrößern.

25 Mit Ausnahme der vorstehend angegebenen Abänderungen können bei dem vierten, in den Fig. 19 und 20 gezeigten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 alle jeweiligen Lesekopf-Geometrien bzw. -Abmessungen und Gestaltungen, Schaltungen und mechanischen Ausführungen eingesetzt werden, wie sie bei dem ersten, zweiten oder dritten Ausführungsbeispiel offenbart sind. In allen Fällen versteht es sich, daß das Magnetfeld bei Einsatz eines oder mehrerer Fluß-Verstärker 170' anstelle eines oder mehrerer Fluß-Unterbrecher 170 verstärkt statt unterbrochen wird.

30 Dies bedeutet, daß die Flußdichte erhöht wird und daß die Polarität der resultierenden Signale invertiert wird, wenn die Fluß-Verstärker 170' eingesetzt werden, verglichen mit den Wirkungen, die bei Einsatz der Fluß-Unterbrecher 170 hervorgerufen werden. In jedem Fall modulieren der oder die Fluß-Verstärker 170' oder der oder die Fluß-Unterbrecher 170 den Magnetfluß räumlich.

35 Die nach dem Verstärkungsprinzip arbeitende, in den Fig. 19 und 20 gezeigte Schieblehre 100 verstärkt den Magnetfluß, indem ein Objekt mit hoher magnetischer Permeabilität, wie etwa Ferrit, in die Nähe des Lesekopfs 164 bewegt wird. Die Fluß-Verstärker 170' stellen einen geringere Reluktanz aufweisenden Pfad für das sich ändernde, durch die Senderwicklung 180 erzeugte Magnetfeld bereit. Als Ergebnis wird der Magnetfluß, der von den Empfängerwicklungen 178 und 179 aufgenommen wird, in der Nähe der Fluß-Verstärker 170' geändert oder vergrößert. Dies führt dazu, daß die Empfängerwicklungen 178 und 179 nicht bei Null liegende EMK-Signale abgeben.

40 Wenn demzufolge die Fluß-Verstärker 170' jeweils eine Länge aufweisen, die gleich groß wie die Hälfte einer Wellenlänge 193 ist, ändert das Signal, das an den Ausgangsanschlüssen 185 bis 188 der Empfängerwicklungen 178 und 179 gemessen wird, die Polarität und die Amplitude, wenn sich die Fluß-Verstärker 170' zwischen die "+" Schleifen 191a und die "-" Schleifen 191b der Empfängerwicklung 178 und zwischen die Schleifen 192a und 192b der Empfängerwicklung 179 bewegen bzw. verschieben. Folglich arbeitet die nach dem Verstärkungsprinzip arbeitende Schieblehre 100 gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel in einer Weise, die vollständig analog zu dem vorstehend beschriebenen Signalverhalten ist, das von den Unterbrechern 170 herrührt, die bei dem ersten, zweiten und dritten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 eingesetzt werden. Falls hohe Permeabilität aufweisende Objekte wie etwa die Verstärker 170' relativ zu dem Lesekopf 164 bewegt werden, wirken die Regionen, bei denen höhere, durch die Empfängerwicklungen 178 und 179 durchtretende Flußdichte vorhanden ist, mit jeweils aufeinanderfolgenden Schleifen aus den Schleifen 191 und 192 zusammen. Die Wechselspannungsamplitude des Signals, das von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegeben wird, hängt von dem Unterschied zwischen der Fläche der "+" Schleifen 191a und 192a, die von den Fluß-Verstärkern 170' überlappt wird, und der Fläche der "-" Schleifen 191b und 192b ab, die von den Fluß-Verstärkern 170' überlappt wird.

45 Wenn sich die Fluß-Verstärker 170' entlang der Meßachse 300 bewegen (bzw. relativ bewegen), ändern sich die Wechselspannungsamplituden der Signale, die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegeben werden, kontinuierlich aufgrund der kontinuierlichen Beziehung zwischen den Überlappungsbereichen der "+" Schleifen 191a und 192a und der Überlappungsbereiche der "-" Schleifen 191b und 192b. Die Signale ändern sich ebenfalls periodisch mit der Wellenlänge 193 aufgrund der sich periodisch abwechselnden "+" Schleifen 191a und "-" Schleifen 191b der Empfängerwicklung 178 und der sich periodisch abwechselnden Schleifen 192a und 192b der Empfängerwicklung 179, wie es in Fig. 3 gezeigt ist, und aufgrund der Abmessungen und der Anordnung der Fluß-Verstärker 170'.

50 55 60 65 65 Die Signale, die von den Empfängerwicklungen 178 und 179 abgegeben werden, weisen glatte, kontinuierliche, sinusförmige Form auf und hängen von der Bewegung der Fluß-Verstärker 170' relativ zu den Empfängerwicklungen 178 und 179 ab. Kontinuierliche Signale ermöglichen es, daß die Schieblehre 100 exakte Positionsmessungen in einem verbreiterten Bereich durchführen kann.

Bei dem in den Fig. 19 und 20 gezeigten, vierten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 enthält die Skala 104 die Mehrzahl von Flußverstärkern 170', die an und entlang des Substrats 168' mit gegenseitigem Abstand angeordnet sind. Die Flußverstärker 170' sind rechteckförmige Elemente, die hohe magnetische Permeabilität besitzen, und sind vorzugsweise aus einem nicht leitenden, zum Beispiel aus einem Widerstandswert besitzenden Material wie etwa aus Ferrit hergestellt. Die Flußverstärker 170' sind weiterhin nicht magnetisiert bzw. magnetisch, so daß sie keine ferromagnetischen Partikel anziehen. 5

Das Substrat 168' ist vorzugsweise aus einem Material hergestellt, das eine deutlich niedrigere magnetische Permeabilität als das Material der Flußverstärker 170' aufweist. In gleichartiger Weise wie die Fluß-Unterbrecher 170 weisen die Flußverstärker 170' vorzugsweise eine Länge auf, die gleich groß ist wie  $\frac{1}{2}$  einer Wellenlänge 193, wobei die Flußverstärker 170' mit einem Teilungsabstand angeordnet sind, der gleich einer Wellenlänge 193 ist. Die Dicke der Flußverstärker 170' liegt vorzugsweise in der Größenordnung von 1,5 mm. Die resultierende Signalstärke ist mit derjenigen bei der mit Unterbrechern arbeitenden Schieblehre 100 vergleichbar. 10

Die Flußverstärker 170' dicker oder dünner als 1,5 mm sein können, führen dickere Flußverstärker 170' zu einer größeren Signalstärke. Die aktuelle Dicke der Flußverstärker 170' wird anhand der gegenläufigen Beziehung zwischen der gewünschten Signalstärke und den Material- und Herstellungskosten festgelegt. 15

Das Substrat 168' ist vorzugsweise wie auch bei dem ersten und zweiten Ausführungsbeispiel nicht leitend. Jedoch kann das Substrat 168' in Abhängigkeit von Herstellungsüberlegungen mehr oder weniger leitend sein. Die Flußverstärker 170' sind gemäß der Darstellung in den Fig. 19 und 20 aus einem Material hergestellt, das von dem Stab 102' und dem Substrat 168' separat ist. Jedoch können die Flußverstärker 170' jedoch auch wie bei dem dritten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 integral bzw. einstückig mit dem Stab 102' ausgebildet werden. In diesem Fall werden die Flußverstärker 170' mittels Verfahrensschritten hergestellt, durch die die Permeabilität derjenigen Abschnitte des Materials des Stabs 102', die die Flußverstärker 170' bilden, geändert wird. 20

Wie in Fig. 21 gezeigt ist, sind die Flußverstärker 170' bei einem fünften Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 als erhabene oder vorstehende Abschnitte des Stabs 102' ausgebildet. Vorzugsweise wird ein Oberflächenkonturierungsprozeß zur Bildung der vorstehenden Abschnitte eingesetzt. Damit können die Flußverstärker 170' wie bei dem dritten, in Fig. 18 gezeigten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 integral bzw. einstückig aus dem gleichen Material wie der Stab 102' hergestellt werden. 25

Durch die enge Nähe der Flußverstärker 170' zu dem Lesekopf 164 wird die Reluktanz des magnetischen Pfads des Magnetflusses in der Nähe der Flußverstärker 170' verringert. Dieser Effekt ist mit der Permeabilitätsänderung zwischen dem Substrat 168', den Flußverstärkern 170' und den leeren Räumen bei dem in den Fig. 19 und 20 gezeigten, vierten Ausführungsbeispiel vergleichbar. Damit kann auch das fünfte Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 im wesentlichen in gleicher Weise wie das in den Fig. 19 und 20 gezeigte vierte Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 arbeiten. 30

Bei einem in Fig. 22 gezeigten, sechsten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 enthält der Stab 102' (oder das Substrat 168') eine Mehrzahl von magnetisch weniger permeablen Segmenten 233 (bzw. Segmenten mit geringerer magnetischer Permeabilität), die zum Beispiel aus Aluminiumoxid bestehen und sich mit einer Mehrzahl von hoher Permeabilität und hohem Widerstand aufweisenden Segmenten 234 beispielsweise aus Ferrit, abwechseln. Der Stab 102' oder das Substrat 168' ist somit durch eine Folge von abwechselnd angeordneten Segmenten 233 und 234 gebildet, die miteinander zur Bildung eines alternierenden Materialstapels verbunden sind. Die magnetisch relativ stärker permeablen (bzw. höhere Permeabilität aufweisenden), nicht leitenden Segmente 234 bilden die Flußverstärker 140' und stellen einen Pfad mit geringerer Reluktanz als die geringere magnetische Permeabilität aufweisenden Segmente 233 bereit. 35

Es ist anzumerken, daß die geringere Permeabilität aufweisenden Segmente 233 aus einem leitenden Material, zum Beispiel aus Kupfer oder Messing, hergestellt werden können. In diesem Fall sind auch die geringere magnetische Permeabilität aufweisenden Segmente Unterbrecher 170. Der Stab 102' oder das Substrat 168' enthält daher zwei Arten von Flußmodulatoren, nämlich die Fluß-Unterbrecher 233 und die Flußverstärker 234. 40

In gleichartiger Weise können die Flußverstärker 170' (234) und die Fluß-Unterbrecher 170 (233) abwechselnd entlang der Oberfläche des Stabs 102' oder des Substrats 168' angeordnet werden, wie es in Fig. 23 gezeigt ist. Bei diesem siebten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 sind die Auswirkungen auf die Empfängersignale, die durch die Unterbrecher 170 (233) und die Verstärker 170' (234) hervorgerufen werden, grob gesehen additiv, so daß ein stärkeres Signal als bei alleinigem Einsatz nur eines Typs der Fluß-Modulatoren erzeugt wird. 45

Wie in Fig. 24 gezeigt ist, können die Fluß-Unterbrecher 170 (233) und die Flußverstärker 170' (234) an einer Basis 102 oder an dem Substrat 168' vorgesehen sein. Ferner können die Fluß-Unterbrecher 170 (233) oder die Flußverstärker 170' (234) auch wie bei dem dritten oder fünften Ausführungsbeispiel einstückig mit der Basis bzw. dem Stab 102' oder mit dem Substrat 168' ausgebildet sein, wie es in den Fig. 25 und 26 gezeigt ist. In diesem Fall sind die jeweils anderen Fluß-Modulatoren, das heißt die Fluß-Unterbrecher 170 (233) oder die Flußverstärker 170' (234), in die Rillen 220 eingefügt. 50

Alle vorstehend im Hinblick auf das erste, zweite und dritte, mit Fluß-Unterbrechern arbeitende Ausführungsbeispiel der Schieblehre beschriebenen geometrischen Gestaltungsprinzipien und auch alle Schaltungen können selbstverständlich auch bei den mit Flußverstärkern arbeitenden Schieblehren 100 gemäß dem vierten bis siebten Ausführungsbeispiel eingesetzt werden, um die hohe Genauigkeit und die weiteren Vorteile zu erzielen, die bei dem ersten bis dritten Ausführungsbeispiel der Schieblehre 100 bereitgestellt werden. Die vorstehend erläuterten, unterschiedlichen Geometrien bzw. Gestaltungen des Lesekopfs können ebenso wie die vorstehend erläuterten Schaltungen und mechanischen Ausgestaltungen zur Erzielung von erheblichen Genauigkeitsverbesserungen, verglichen mit den herkömmlichen, nach dem "Verstärkungsprinzip" arbeitenden Codierern einge- 55

setzt werden, wenn die Fluß-Unterbrecher 170 durch die Fluß-Verstärker 170' ersetzt werden. Die vorstehend beschriebenen, mit niedriger Leistung auskommenden Schaltungstechniken können ebenfalls im Zusammenhang mit den Fluß-Verstärkern 170' eingesetzt werden, wobei die Vorteile geringen Strombedarfs beibehalten bleiben.

5 Auch wenn vorstehend spezielle Ausführungsbeispiele und Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung erläutert sind, lassen sich verschiedene äquivalente oder sonstige Abänderungen vornehmen. Zum Beispiel können statt der sinusförmigen Schleifen 191 und 192, die im Zusammenhang mit den Empfängerwicklungen 178 und 179 gezeigt und beschrieben sind, auch vielfältige andere geometrische Gestaltungen einschließlich unterschiedlicher Geometrien bzw. Auslegungen für unterschiedliche Phasen bei einem gegebenen Lesekopf, wirkungsvoll eingesetzt werden.

10 Ebenso können auch andere geometrische Gestaltungen der räumlichen Fluß-Modulatoren eingesetzt werden, auch wenn vorstehend im wesentlichen rechteckförmige, leitende Stäbe und rechteckförmige Stäbe hoher Permeabilität als zwei Arten von räumlichen Fluß-Modulatoren beschrieben sind. Wenn diese anderen räumlichen Gestaltungen zu nicht sinusförmigen, von der Verlagerung abhängigen Ausgangssignalen führen, kann die 15 aktuelle Funktion bzw. der aktuelle Zusammenhang in einer Nachschlagetabelle enthalten sein oder durch andere, dem Fachmann bekannte Mittel erkannt werden. Die vorstehend beschriebenen Gleichungen zur Berechnung der Position können ebenfalls in Übereinstimmung mit bekannten Signalverarbeitungsmethoden abgeändert oder ersetzt werden.

20 Auch kann die Abtastfrequenz höher oder niedriger als die vorstehend angegebene Abtastfrequenz gewählt werden, und zwar in Abhängigkeit von der gewünschten Genauigkeit und der maximalen erwarteten Bewegungsrate bzw. Bewegungsgeschwindigkeit des Schlittens oder Schiebers relativ zu der Skala. Die vorstehend beschriebene elektronische Schaltung 166 enthält gleichfalls nur als Beispiel dienende Analyseschaltungen. Der Fachmann kann auch andere Schaltungen für die Ansteuerung der Senderwicklung 180 und für die Erfassung der von den Empfängerwicklung 178 und 179 abgegebenen Signale aufbauen oder einsetzen. Weiterhin ist für den 25 Fachmann ersichtlich, daß aufgrund der Symmetrie der vorstehend erläuterten elektromagnetischen Prinzipien die Betriebsfunktion der Senderwicklung 180 und der Empfängerwicklung 178 und 179 auch umgekehrt werden kann, wie es vorstehend schon angesprochen ist.

30 Ferner ist ersichtlich, daß die elektronischen Komponenten, die die hochfrequenten Signale erzeugen und/oder verarbeiten, vorzugsweise so nahe wie möglich bei dem Wandler angeordnet sind, wohingegen die elektronischen Komponenten, die die niederfrequenten Signale erzeugen und/oder verarbeiten, von dem Wandler weiter entfernt angeordnet werden können. Die hochfrequenten elektronischen Komponenten enthalten zum Beispiel die Schaltungen, die für die Ansteuerung der Senderwicklung bzw. Senderwicklungen und für die Erfassung der von der Empfängerwicklung abgegebenen Signale eingesetzt werden. Die niederfrequenten elektronischen Komponenten enthalten zum Beispiel diejenigen Schaltungen, die sich stromab der Abtast- und Halteschaltung bzw. der Abtast- und Halteschaltungen befinden. Insbesondere dann, wenn die Erregerfrequenz des Wandlers 1 MHz oder größer ist, sollten mindestens die signalerzeugenden Schaltungen und die demodulierenden Schaltungen an dem Lesekopf 164 angeordnet werden.

#### Patentansprüche

40 1. Elektronische Schieblehre, mit einem Schiebeelement (120), einem Stabelement (102; 102'), das eine Meßachse (300) aufweist, wobei das Schiebeelement (120) an dem Stabelement beweglich angebracht ist und entlang der Meßachse verschiebbar ist, mindestens einem Magnetfeldgenerator (180), der bzw. von denen jeder als Reaktion auf ein Treibersignal einen sich ändernden Magnetfluß in einer Flußregion erzeugt, mindestens einem Flußmodulator (170; 170'), der bzw. von denen jeder innerhalb der Flußregion positionierbar ist und den sich ändernden Magnetfluß innerhalb einer Modulationsregion in der Nähe des Flußmodulators ändern kann, und mindestens einem Magnetflußsensor (178, 179), der bzw. von denen jeder in der Flußregion angeordnet ist und den sich ändernden Magnetfluß in der Flußregion erfaßt, wobei jeder Magnetflußsensor auf der Grundlage des erfaßten Magnetflusses ein Ausgangssignal erzeugt, das die Relativlage zwischen dem Magnetflußsensor und dem mindestens einen Flußmodulator anzeigt.

45 2. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens einer von (a) jedem Magnetflußsensor (178, 179) und (b) jedem Magnetfeldgenerator (180) in einem Muster mit sich abwechselnden Polaritätsregionen ausgebildet ist.

50 3. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster mit sich abwechselnden Polaritätsregionen sinusförmige Bereiche (191, 192) aufweist, die durch leitende Elemente verbunden sind.

55 4. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß derjenige von jedem Magnetfeldgenerator (180) und jedem Magnetflußsensor (178, 179), der in Form des Musters mit sich abwechselnden Polaritätsregionen ausgebildet ist, an dem Schiebeelement (120) oder an dem Stabelement (102; 102') angeordnet ist und der mindestens eine Flußmodulator (170; 170') an dem jeweils anderen Element, das heißt an dem Stabelement (102, 102') bzw. an dem Schiebeelement (120), angeordnet ist.

60 5. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der andere von jedem Magnetfeldgenerator (180) und jedem Magnetflußsensor (178, 179), der nicht in Form des Musters mit sich abwechselnden Polaritätsregionen ausgebildet ist, entweder an dem Schiebeelement (120) oder an dem Stabelement (102; 102') angeordnet ist.

6. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das von jedem Magnetflußsensor erzeugte Ausgangssignal bei Fehlen des mindestens einen Flußmodulators (170; 170') gegenüber dem sich ändernden, von dem oder den Magnetfeldgeneratoren (180) erzeugten Magnetfluß unempfindlich ist. 5

7. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Flußmodulator (170; 170') einen Flußunterbrecher (170) oder einen Flußverstärker (170) umfaßt.

8. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Magnetfeldgenerator (180) einen feldgenerierenden Leiter enthält, daß jeder Magnetflußsensor (178, 179) einen Sensorleiter aufweist, und daß der feldgenerierende Leiter jedes Magnetfeldgenerators und der Sensorleiter jedes Magnetflusssensors innerhalb einer dünnen Zone angeordnet sind. 10

9. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch, eine Niederleistungs-Energieversorgungsquelle (V+), die eine Versorgungsspannung bereitstellt, eine Treiberschaltung (200), die mit der Versorgungsspannung gespeist wird und ein intermittierendes Ansteuersignal an den Magnetfeldgenerator bzw. an mindestens einen von mehreren Magnetfeldgeneratoren (180) während jedes Meßzyklus anlegt, und 15

eine Analysierschaltung (226), die das von dem oder den Magnetfeldsensoren (178, 179) erzeugte Ausgangssignal aufnimmt und ein Positionssignal abgibt, das die Position des Schiebelements (120) an dem Stabelement (102, 102') mit einem ersten Auflösungsniveau anzeigt.

10. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Treiberschaltung (200) 20 einen Kondensator (214) aufweist, der durch den Magnetfeldgenerator (180) bzw. bei mehreren Magnetfeldgeneratoren durch mindestens einen von diesen entladbar ist.

11. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensator (214) und der mindestens eine Magnetfeldgenerator (180) eine Resonanzschaltung bilden.

12. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das intermittierende Ansteuersignal mindestens ein Impulssignal umfaßt. 25

13. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Analysierschaltung (226) einen Zähler zum Zählen der Anzahl oder der Bruchteile von Zyklen des mindestens einen, von dem mindestens einen Magnetfeldsensor (178, 179) erzeugten Ausgangssignals mit einem zweiten Auflösungsniveau als Reaktion auf eine Bewegung des Schiebelements (120) entlang der Meßachse 30 (300) enthält, wobei das zweite Auflösungsniveau größer ist als das erste Auslösungs niveau.

14. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der sich ändernde Magnetfluß, der durch den mindestens einen Magnetfeldgenerator (180) erzeugt wird, sich mit einer Rate ändert, die einer Schwingungsfrequenz von mindestens 1 MHz entspricht. 35

15. Elektronische Schieblehre mit  
einem Schieber (120),  
einem langgestreckten Stab (102, 102') der eine Meßachse (300) aufweist, entlang derer der Schieber (120) bewegbar ist,  
einer Energiequelle, die eine Versorgungsspannung (V+) für eine Treiberschaltung (200) erzeugt, die ihrerseits die Versorgungsspannung aufnimmt und ein Ansteuersignal abgibt, 40  
einem induktiven Wandler (164, 170, 178, 179, 180), der mit dem langgestreckten Stab (102, 102') und mit dem Schieber (120) verbunden ist, und das Ansteuersignal empfängt sowie mindestens ein Erfassungssignal in Abhängigkeit von der relativen Position des Schiebers (120) an dem langgestreckten Stab (102, 102') abgibt, und  
einer Analysierschaltung (226), die das mindestens eine Erfassungssignal empfängt und ein Ausgangssignal erzeugt, das die Position des Schiebers (120) an dem langgestreckten Stab (102; 102') mit einem ersten Auflösungsniveau angibt. 45

16. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Treiberschaltung (200) einen Kondensator (214) enthält, der über den induktiven Wandler (164, 170, 178, 179, 180) entladbar ist.

17. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Kondensator (214) und der induktive Wandler (164, 170, 178, 179, 180) eine Resonanzschaltung bilden. 50

18. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß sich ein von dem induktiven Wandler (164, 170, 178, 179, 180) erzeugtes Magnetfeld als Reaktion auf das Ansteuersignal mit einer Rate ändert, die einer Schwingungsfrequenz von mindestens 1 MHz entspricht.

19. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß das Ansteuersignal ein intermittierendes Treibersignal ist, das mindestens ein Impulssignal enthält. 55

20. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Analysierschaltung (226) einen Zähler zum Zählen von Bruchteilen bzw. der Anzahl von Zyklen des mindestens einen Erfassungssignals enthält, das von dem induktiven Wandler (164, 170, 178, 179, 180) als Reaktion auf die Bewegung des Schiebers (120) entlang des langgestreckten Stabs (102; 102') mit einem zweiten Auflösungsniveau abgegeben wird, das grober ist als das erste Auflösungsniveau, wobei der Zähler eine ungefähre relative Position des Schiebers (120) an dem langgestreckten Stab (102, 102') angibt. 60

21. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Zähler auf räumliche Intervalle von höchstens einem viertel Zyklus anspricht.

22. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der induktive Wandler (164, 170, 178, 179, 180) enthält: 65

mindestens einen Magnetfeldgenerator (180), der einen sich ändernden Magnetfluß in einer Flußregion als Reaktion auf das intermittierend angelegte Ansteuersignal erzeugt,

mindestens einen Flußmodulator (170, 170'), der in der Flußregion positionierbar ist und den Magnetfluß innerhalb einer Modulationsregion in der Nähe des Flußmodulators ändern kann, und  
5 mindestens einen Magnetflußsensor (178, 179), der in der Flußregion angeordnet ist und den Magnetfluß in der Flußregion erfaßt, wobei der mindestens eine Magnetflußsensor (178, 179) das oder die Erfassungssignale erzeugt, das jeweils die relative Lage zwischen dem jeweiligen Magnetflußsensor und dem mindestens einen Flußmodulator (170; 170') auf der Grundlage des erfaßten Magnetflusses angibt.

23. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer des oder der Magnetflußsensoren oder des oder der Magnetfeldgeneratoren mit einem Muster mit sich abwechselnden Polaritätsregionen ausgebildet ist.

10 24. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Muster mit sich abwechselnden Polaritätsregionen sinusförmige Bereiche (191, 192) aufweist, die durch leitende Elemente verbunden sind.

15 25. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß das von dem oder den Magnetflußsensoren erzeugte Ausgangssignal bei Fehlen des mindestens einen Flußmodulators gegenüber dem sich ändernden, durch den oder die Magnetfeldgeneratoren erzeugten Magnetfluß unempfindlich ist.

20 26. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 22 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß der mindestens eine Flußmodulator (170; 170') einen Flußunterbrecher (170) und/oder einen Flußverstärker (170') enthält.

25 27. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 22 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Magnetfeldgenerator (180) einen feldgenerierenden Leiter enthält, daß jeder Magnetflußsensor (178, 179) einen Sensorleiter aufweist, und daß der feldgenerierende Leiter jedes Magnetfeldgenerators und der Sensorleiter jedes Magnetflußsensors innerhalb einer dünnen Zone positioniert sind.

30 28. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Analysierschaltung (226) Änderungen der relativen Position mit einem groben Auflösungsniveau während jedes Impulsintervalls des Ansteuersignals ermittelt und die relative Lage während einer Vielzahl von Impulsintervallen lediglich einmal mit einem feineren Auflösungsniveau ermittelt.

35 29. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Schieblehre eine durchschnittliche Stromaufnahme von höchstens 200  $\mu$ A aufweist.

30. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Ansteuersignal ein intermittierendes Ansteuersignal ist.

35 31. Elektronische Schieblehre nach einem der Ansprüche 15 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Energiequelle eine Niederleistungs-Energiequelle ist.

32. Elektronische Schieblehre nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der oder jeder Magnetfeldgenerator (180) und der oder jeder Magnetflußsensor (178, 179) kontinuierlich, räumlich moduliert, induktiv gekoppelt sind.

35 33. Elektronische Schieblehre mit  
einem Schiebeelement (120),  
einem Stabelement (102, 102') mit einer Meßachse (300), entlang derer das bewegbar an dem Stabelement (102, 102') angebrachte Schiebeelement (120) beweglich ist,  
mindestens einem Magnetfeldgenerator (180), der als Reaktion auf ein Ansteuersignal einen sich ändernden Magnetfluß in einer Flußregion erzeugt,  
40 mindestens einem Flußmodulator (170; 170'), der in der Flußregion positionierbar ist und den sich ändernden Magnetfluß in einer Modulationsregion in der Nähe des Flußmodulators ändern kann,  
mindestens einem Magnetflußsensor (178, 179), der in der Flußregion angeordnet ist und den sich ändernden Magnetfluß in der Flußregion erfaßt, wobei der oder jeder Magnetflußsensor in Abhängigkeit von dem erfaßten Magnetfluß ein Ausgangssignal erzeugt, das eine Relativlage zwischen dem Magnetflußsensor und dem mindestens einen Flußmodulator (170; 170') angibt,  
45 wobei der mindestens eine Magnetfeldgenerator (180) und der mindestens eine Magnetflußsensor (178, 179) räumlich moduliert induktiv gekoppelt sind und sich jedes Ausgangssignal des mindestens einen Magnetflußsensors in im wesentlichen linearer Abhängigkeit von der gesamten Überlappungsfläche ändert, die durch die Querschnittsfläche des mindestens einen Flußmodulators, die sowohl die Flußregion als auch eine effektive Fläche des mindestens einen Magnetflußsensors bei rechtwinkliger Projektion auf die effektive Ebene des mindestens einen Magnetflußsensors überlappt, definiert ist, wobei Flächen mit entgegengesetzter Polarität der induktiven Kopplung als Flächen mit entgegengesetztem Vorzeichen definiert sind.

50 34. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Fläche von mindestens einem aus a) dem oder den Magnetfeldgeneratoren und b) dem oder den Magnetflußsensoren sinusförmig mit einer gegebenen räumlichen Frequenz moduliert ist, um hierdurch die räumlich modulierte induktive Kopplung zu definieren.

55 35. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 33 oder 34, dadurch gekennzeichnet, daß sich die gesamte Überlappungsfläche in Abhängigkeit von der Relativlage in sinusförmiger Weise mit einer gegebenen räumlichen Frequenz ändert.

60 36. Elektronische Schieblehre nach Anspruch 33, 34 oder 35, dadurch gekennzeichnet, daß räumlich modulierte induktive Kopplung eine kontinuierliche, räumlich modulierte, induktive Kopplung ist.

65 37. Verfahren zum Betreiben einer Schieblehre (100), die  
ein Stabelement (102; 102') mit einer Meßachse (300),  
ein Schiebeelement (120), das an dem Stabelement (100; 102') angebracht und entlang der Meßachse (300) verschiebbar ist,  
einen Magnetflußsensor (178, 179) der an dem Schiebeelement (120) oder an dem Stabelement (102; 102') vorgesehen ist,

5  
einen Flußmodulator (170; 170'), der an dem anderen, nicht mit dem Magnetflußsensor versehenen Element, das heißt an dem Stabelement (102; 102') oder an dem Schiebeelement (120) vorgesehen ist, und einen Magnetflußgenerator (180) aufweist, der an dem Schiebeelement (120) oder an dem Stabelement (102; 102') vorgesehen ist, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

Erzeugen eines sich ändernden Magnetflusses durch den Magnetflußgenerator (180) in einer Flußregion, Bewegen des Schiebelements (120) relativ zu dem Stabelement (102; 102') bis zu einer Meßposition, die mit einer vorgegebenen Referenzposition in Relation steht, wobei der Flußmodulator (170; 170') die induktive Kopplung zwischen dem Magnetflußsensor (178, 179) und dem Magnetflußgenerator (180) entsprechend der Relativlage zwischen dem Schiebeelement (120) und dem Stabelement (102; 102') moduliert, Erfassen des modulierten Magnetflusses mittels des Magnetflußsensors (178, 179) zur Erzeugung eines Erfassungssignals, das der Relativlage zwischen dem Schiebeelement (120) und dem Stabelement (102; 102') entspricht,

Überwachen des durch den Magnetflußsensor erzeugten Erfassungssignals, und  
15 Ermitteln eines Abstands zwischen der vorgegebenen Referenzposition und der Meßposition in Abhängigkeit von dem überwachten Erfassungssignal.

38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetflußgenerator (180) eine Senderwicklung bildet, und daß der Schritt der Erzeugung eines sich ändernden Magnetflusses das Anlegen eines Ansteuersignals an die Senderwicklung (180) enthält, wobei das Ansteuersignal einen sich ändernden Stromfluß in der Senderwicklung (180) zum Induzieren des sich ändernden Magnetflusses hervorruft.

39. Verfahren nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Anlegens eines Ansteuersignals an die Senderwicklung (180) die Schritte enthält:

Erzeugung einer Serie von Impulsen mit einem ausgewählten Impulsintervall mittels eines Impulsgenerators (200) zur Erzeugung eines impulsförmigen Signals, und

Anlegen des impulsförmigen Signals an einen Eingangsanschluß der Senderwicklung (180).

40. Verfahren nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Überwachung des durch den Magnetflußsensor erzeugten Erfassungssignals das mit dem impulsförmigen Signal synchrone Abtasten des Erfassungssignals enthält.

41. Verfahren nach Anspruch 40, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des mit dem impulsförmigen Signal synchrone Abtastens des Erfassungssignals das Abtasten des Erfassungssignals auf der Grundlage einer erwarteten Zeitverzögerung zwischen dem impulsförmigen Signal und einem Spitzenwert des Antwortsignals einer Resonanzschaltung enthält, die durch den Impulsgenerator (200) und die Senderwicklung (180) gebildet ist.

42. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 41, dadurch gekennzeichnet, daß der Ermittlungsschritt enthält:

Ermitteln von Änderungen der Relativlage mit einem groben Auflösungsniveau während jedes Impulsintervalls, und

Ermitteln des Abstands zwischen der vorgegebenen Referenzposition und der Meßposition mit einem feineren Auflösungsniveau lediglich einmal während einer Mehrzahl von Impulsintervallen.

43. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß beim Betreiben der elektronischen Schieblehre (100) ein durchschnittlicher Strom von höchstens 200  $\mu$ A ließt.

44. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 43, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Erzeugung eines sich ändernden Magnetflusses mittels des Magnetflußgenerators (180) die Zuführung eines durchschnittlichen Stroms von höchstens 75  $\mu$ A zu dem Magnetflußgenerator enthält.

45. Verfahren nach einem der Ansprüche 37 bis 44, dadurch gekennzeichnet,  
45  
daß der Magnetflußgenerator (180) und der Magnetflußsensor (178, 179) eine räumlich modulierte induktive Kopplung bilden, und

daß bei dem Schritt der Bewegung des Schiebelements (120) der Flußmodulator (170; 170') die räumlich modulierte induktive Kopplung zwischen dem Schiebelement (120) und dem Stabelement (102; 102') noch weiter moduliert, um hierdurch ein sich kontinuierlich änderndes Ausgangssignal seitens des Magnetflußsensors (178, 179) zu erhalten.

Hierzu 25 Seite(n) Zeichnungen

55

60

65

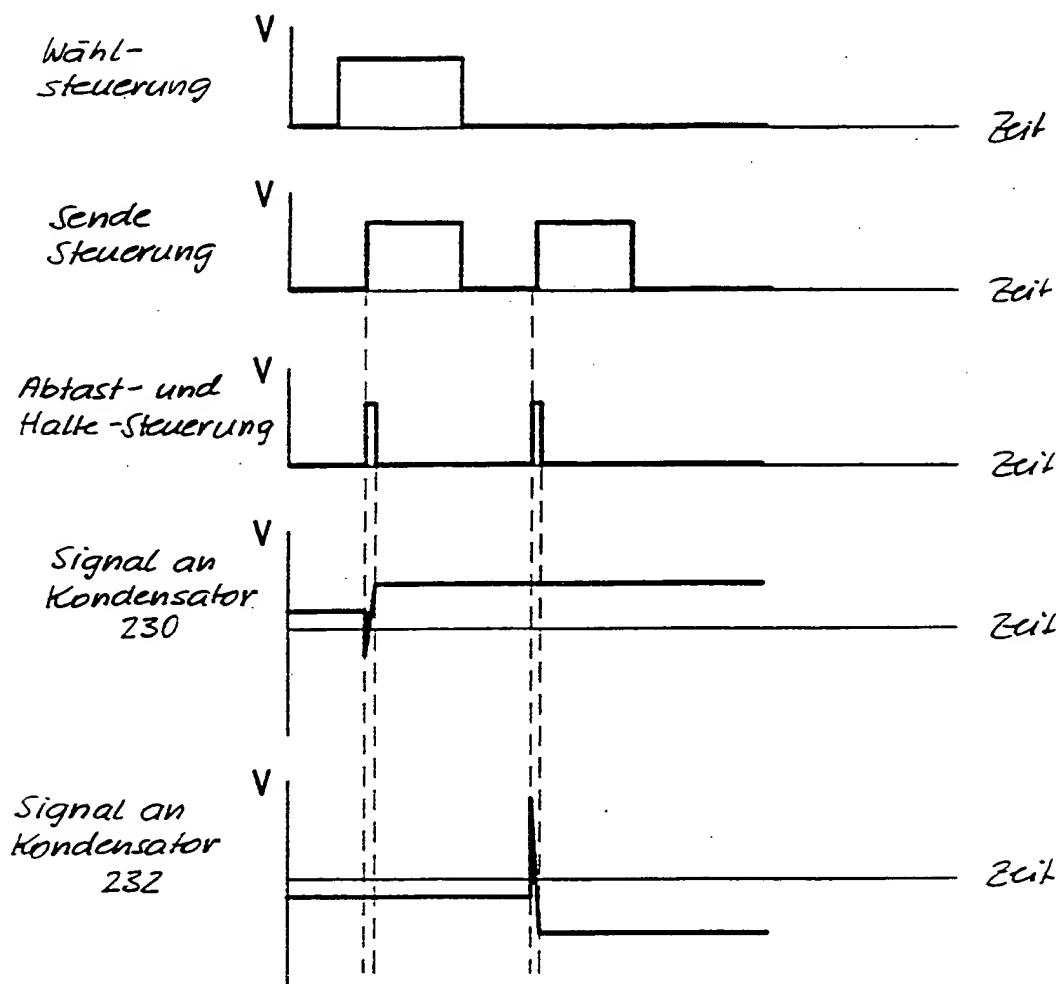


FIG.31

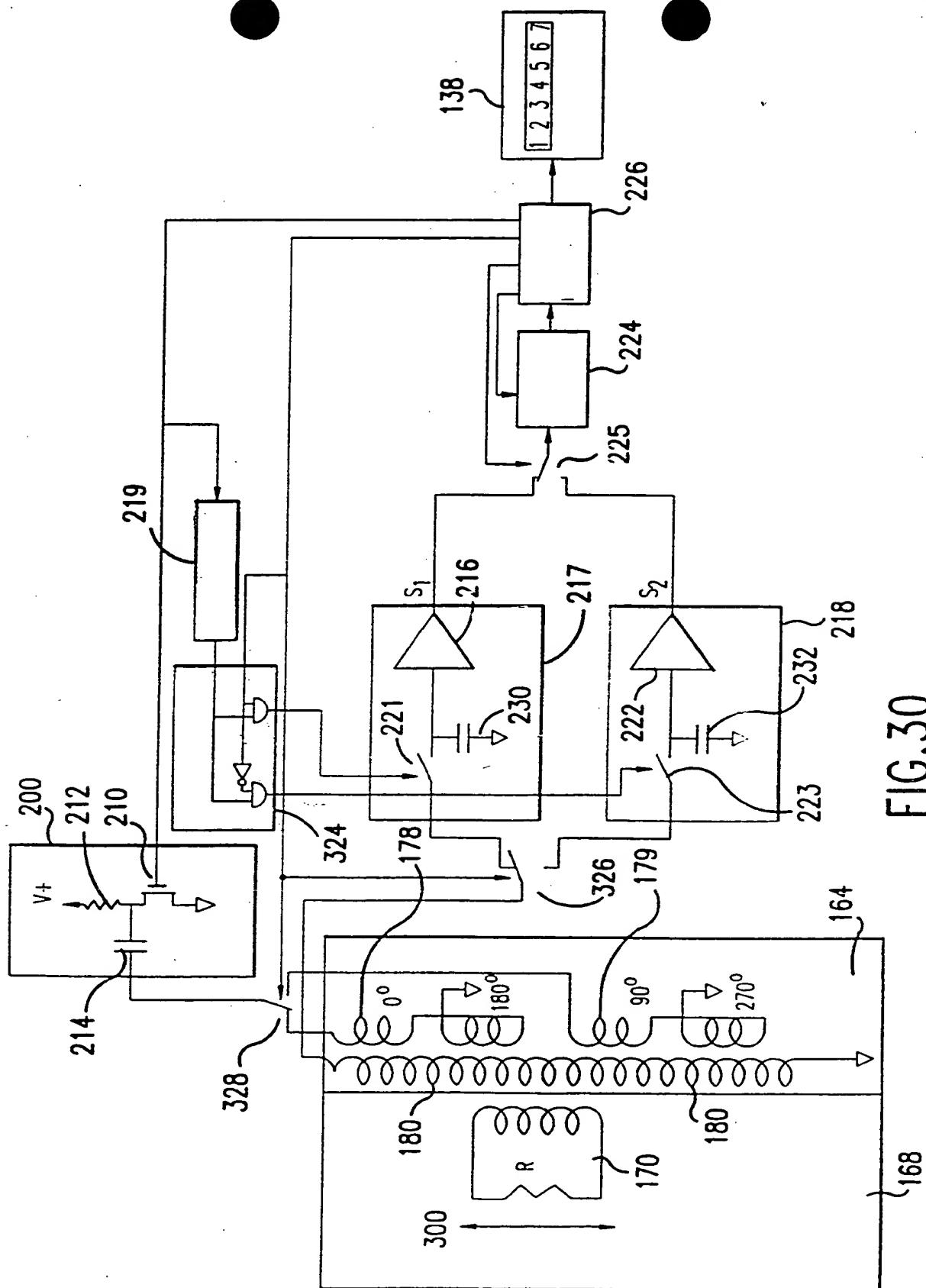


FIG. 30

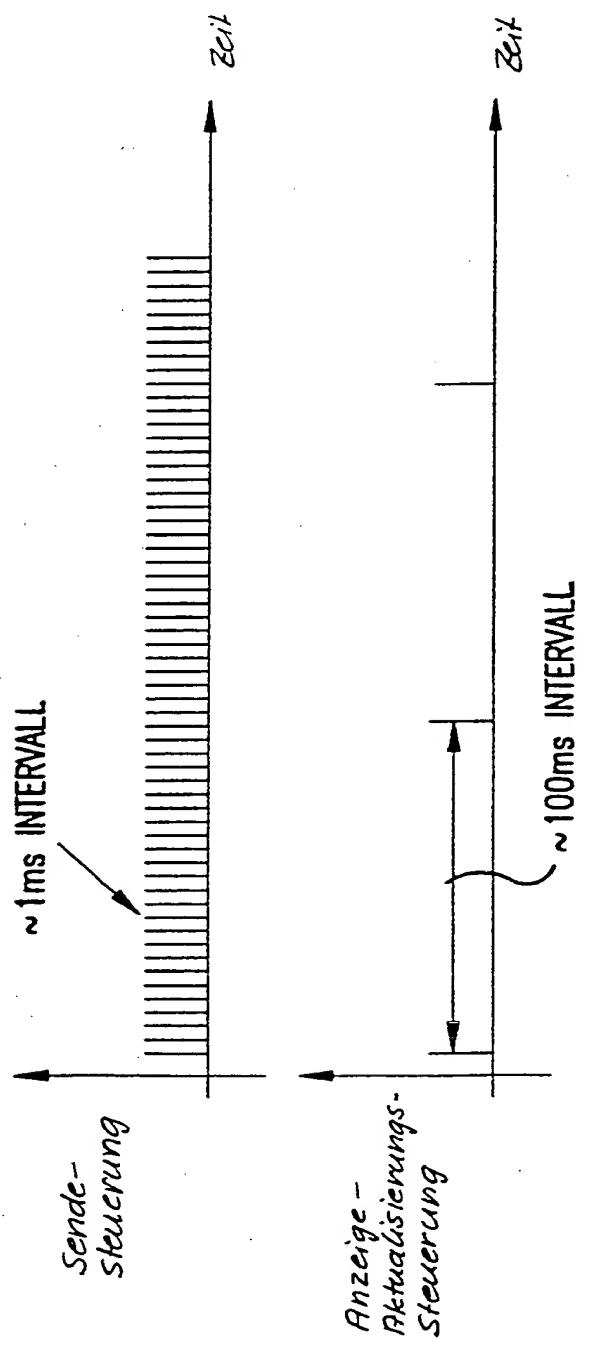


FIG. 29

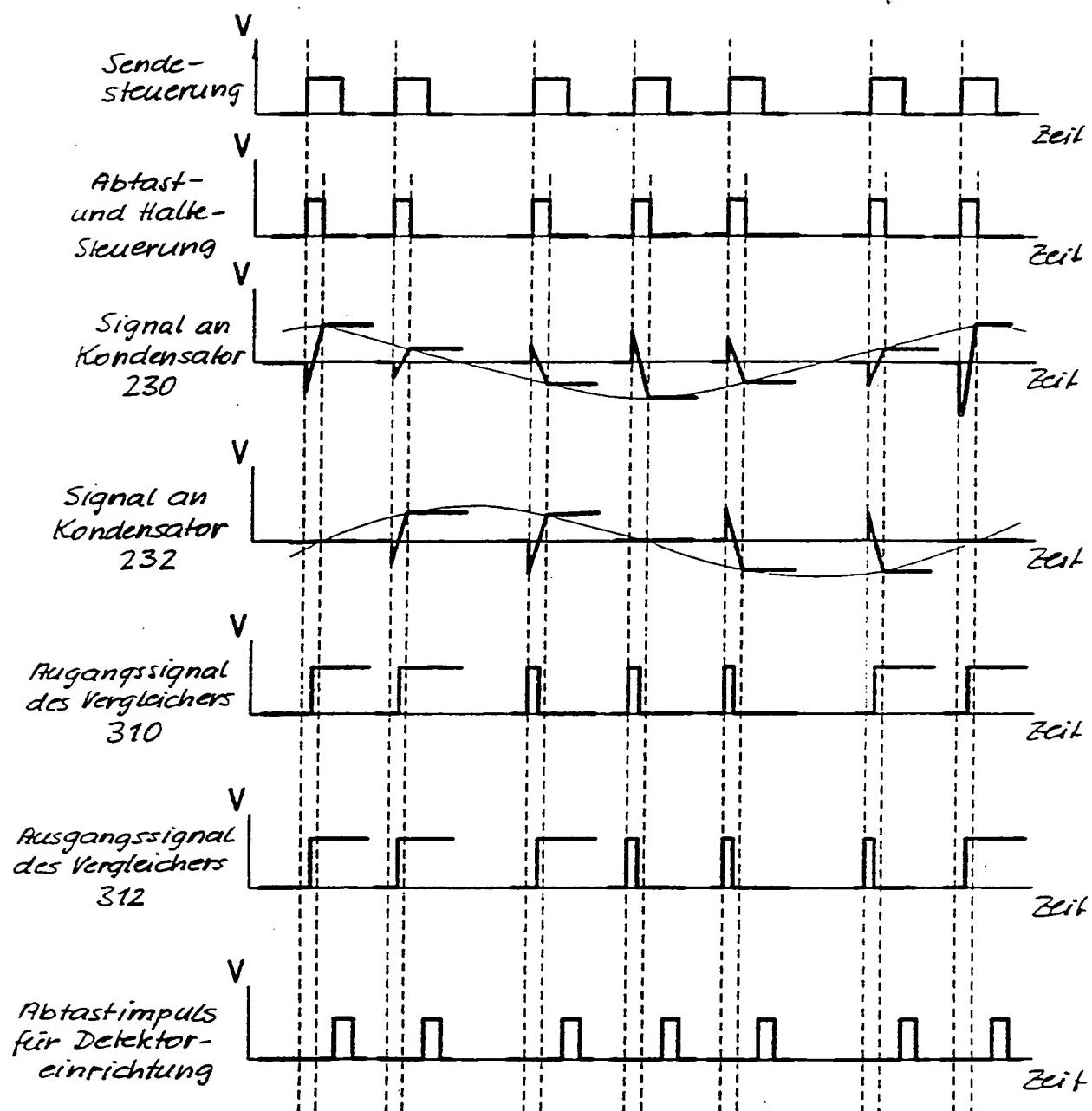


FIG.28

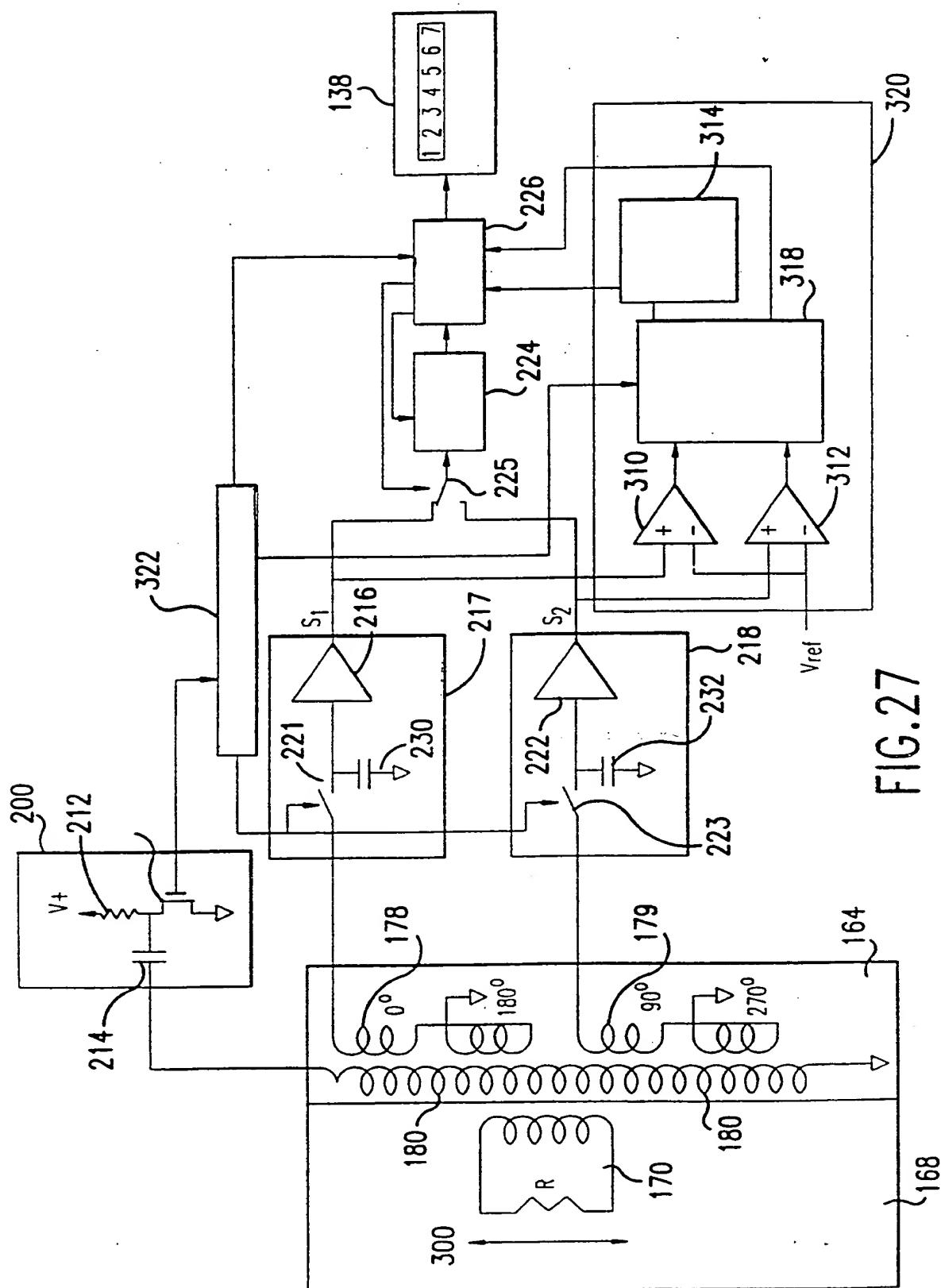


FIG. 27

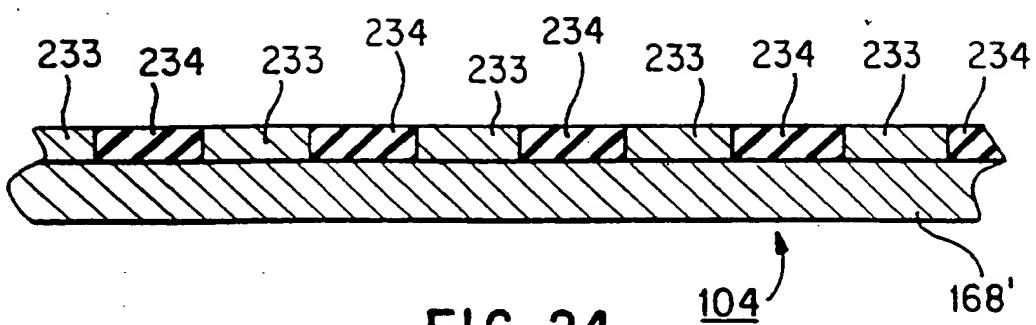


FIG. 24

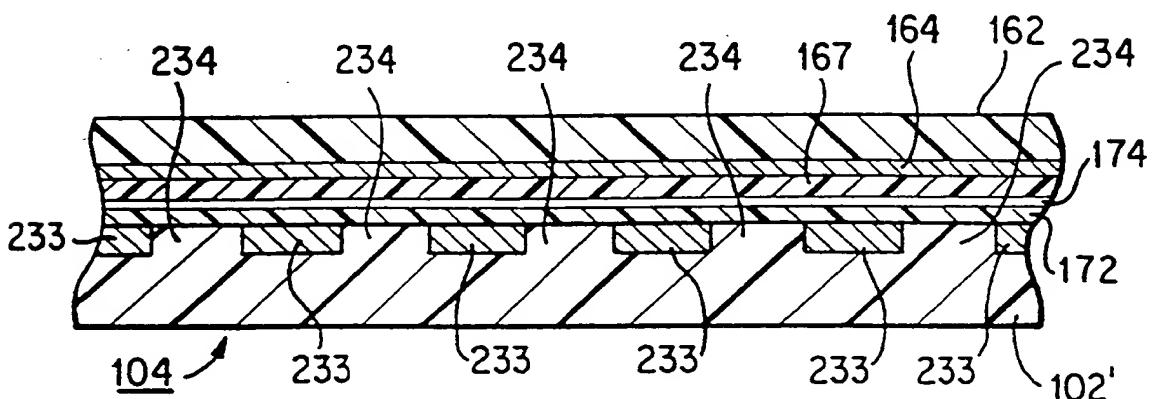


FIG. 25

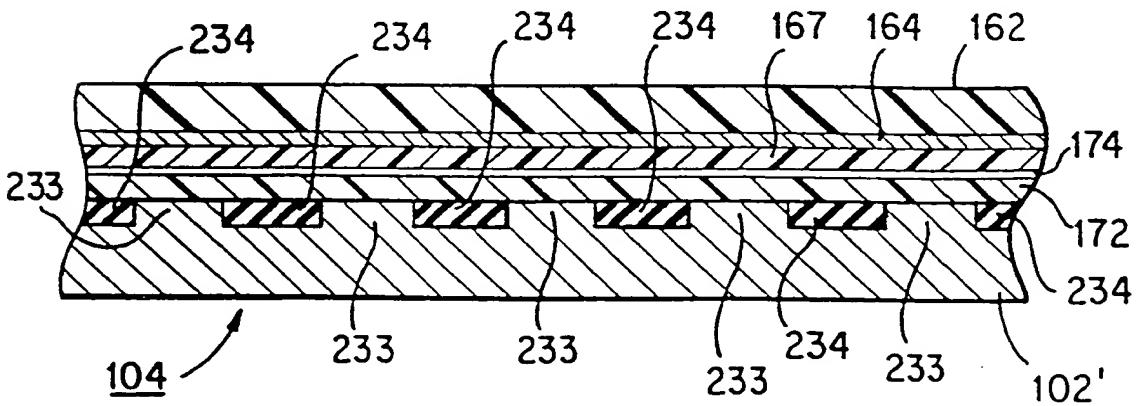


FIG. 26

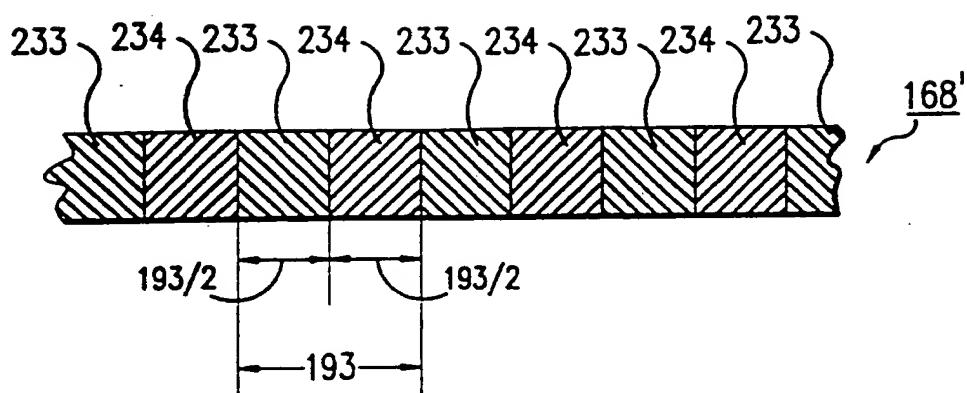


FIG.22

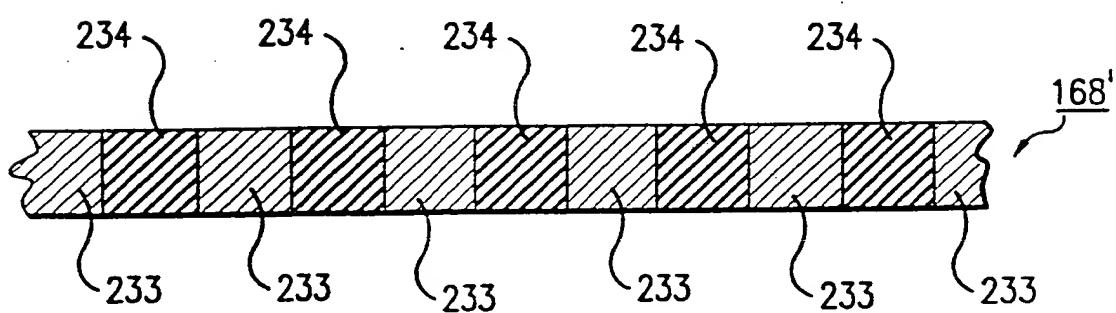


FIG.23

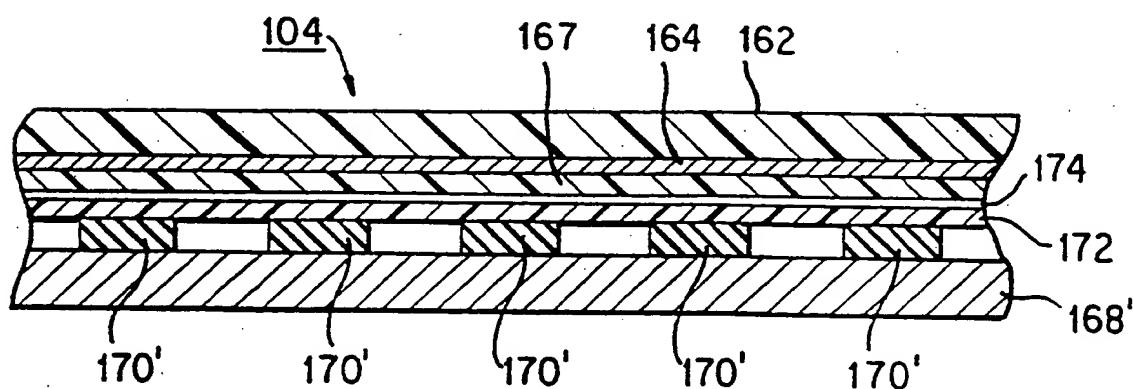


FIG. 20

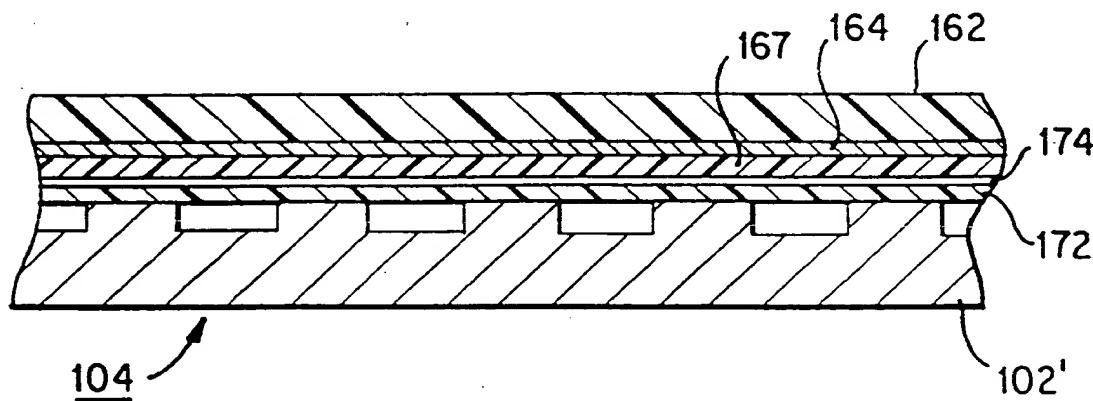


FIG. 21

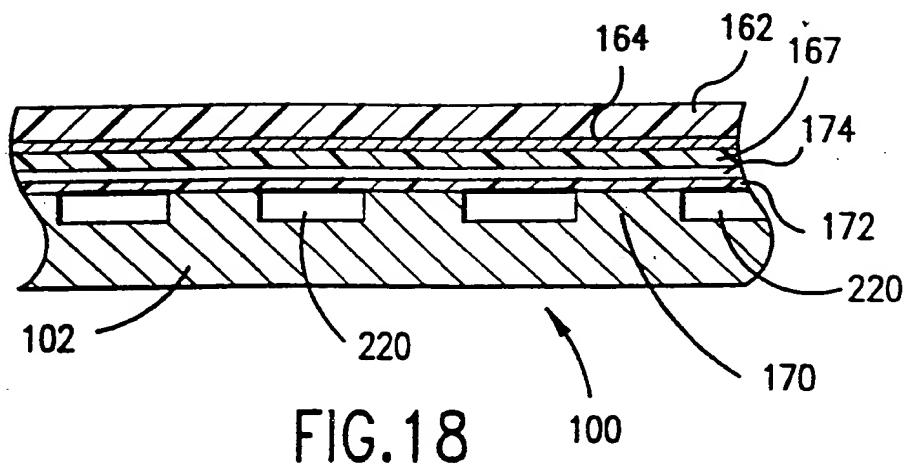


FIG. 18

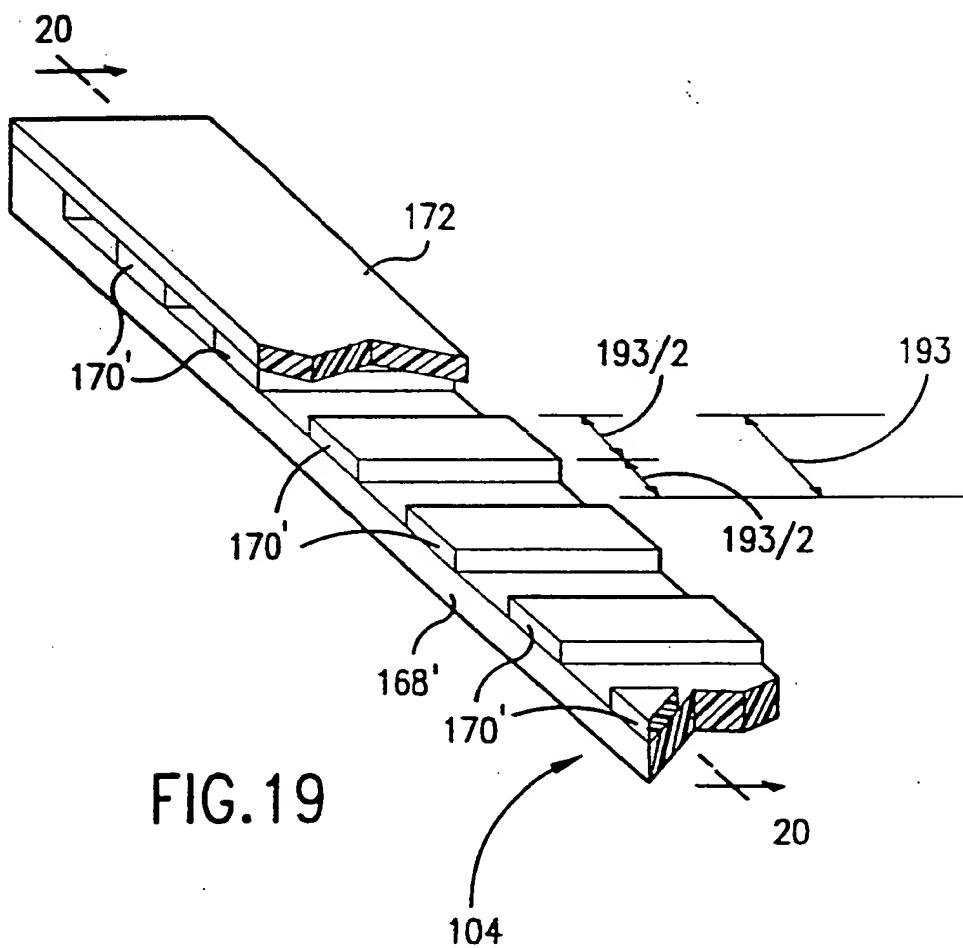


FIG. 19

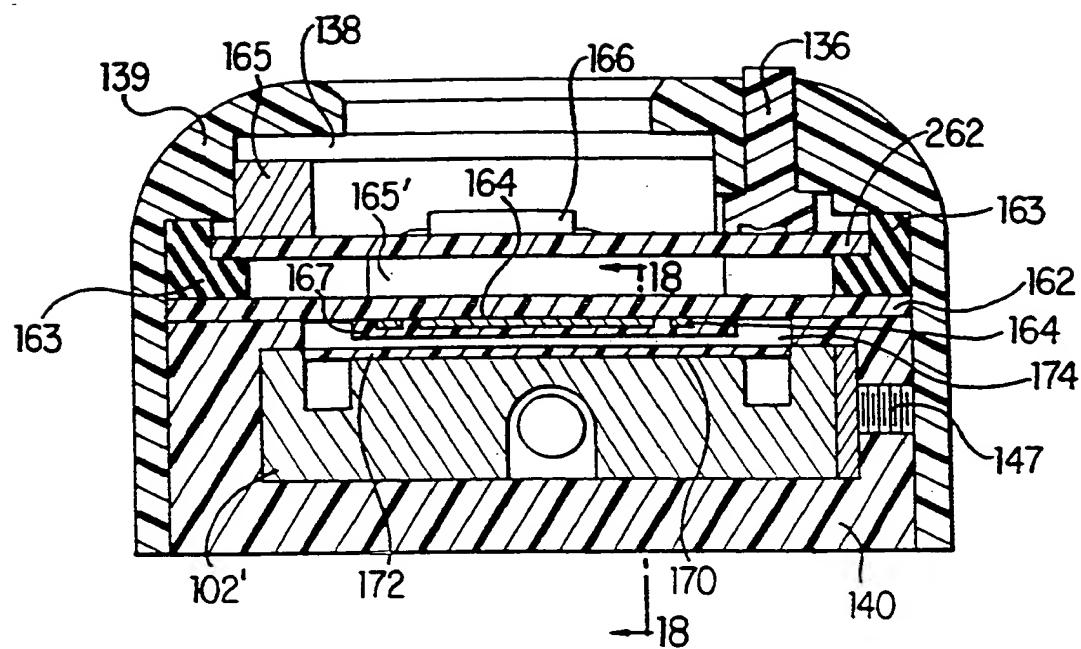


FIG. 17

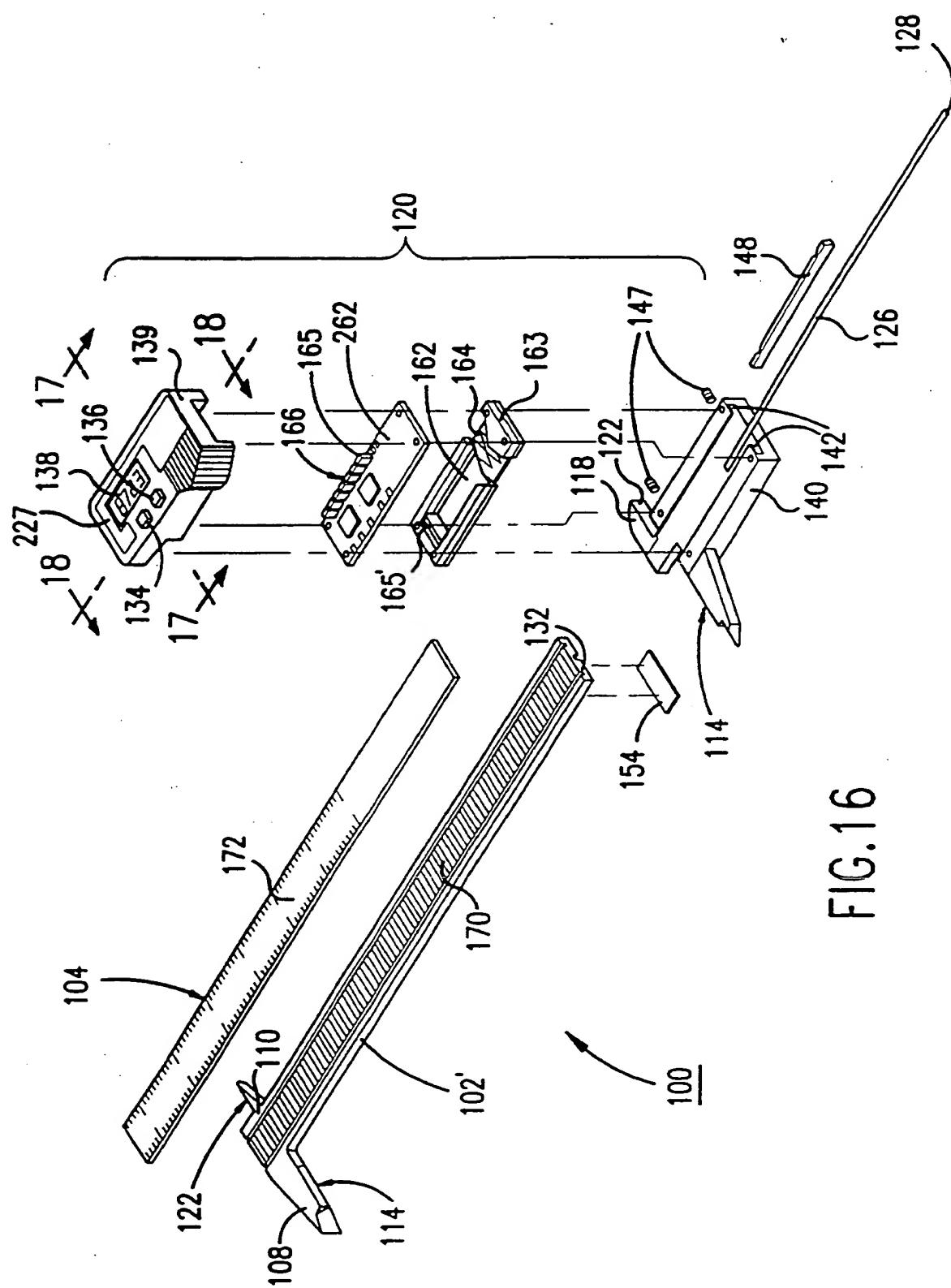


FIG. 16

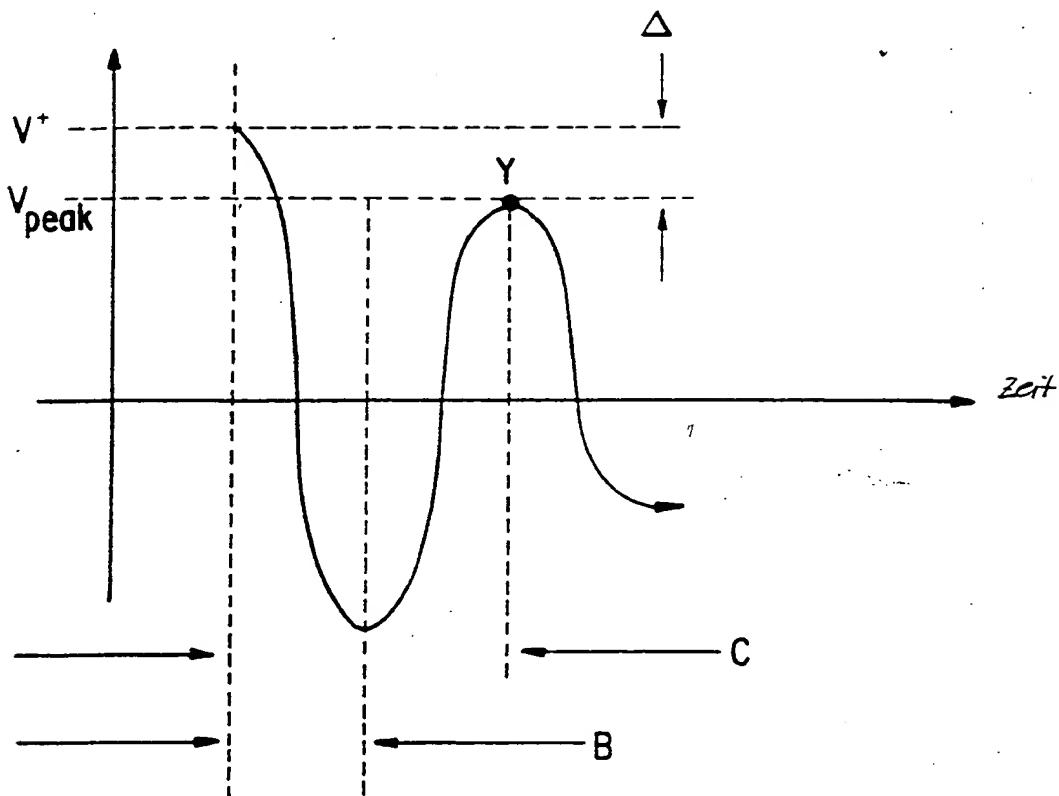


FIG. 14

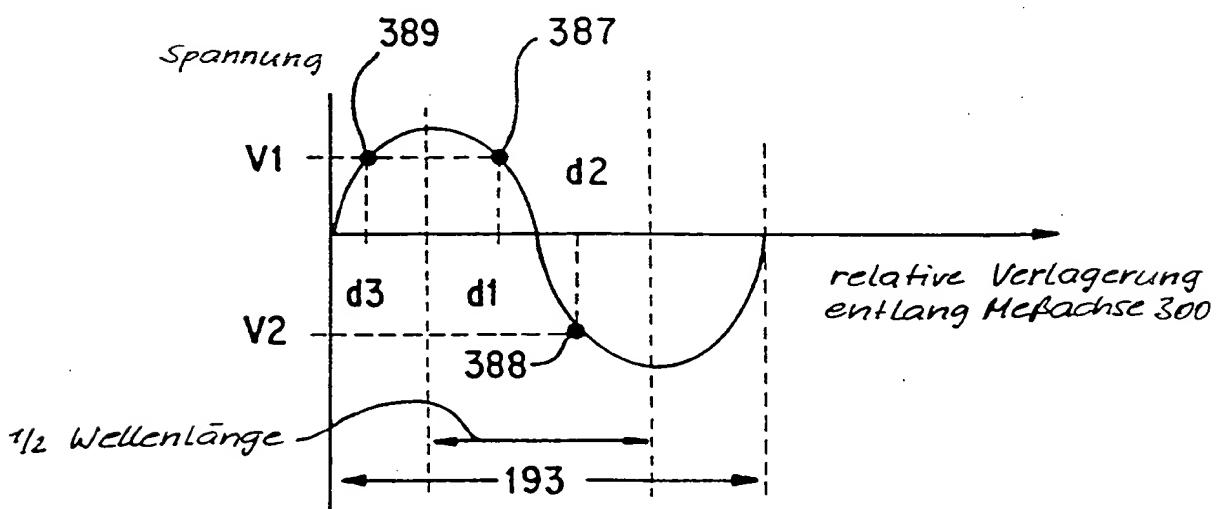


FIG. 15

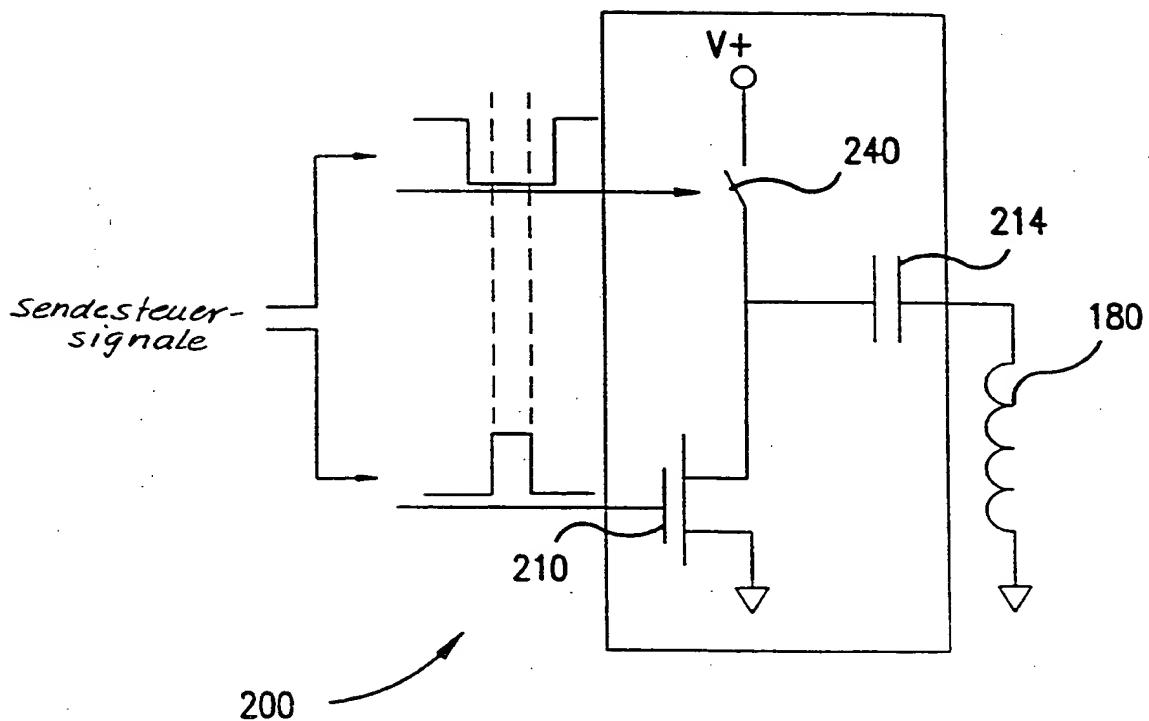


FIG.13

FIG.12A

Sendesteuerung

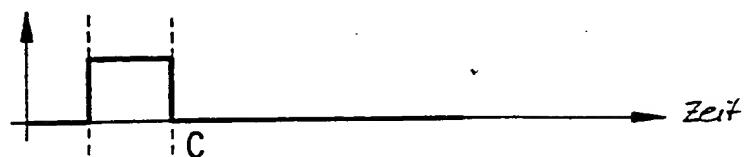


FIG.12B

Signal an  
Senderwick-  
lung 180

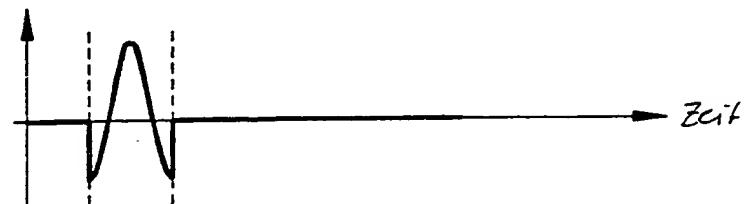


FIG.12C

Abtast/Halte-  
steuerung

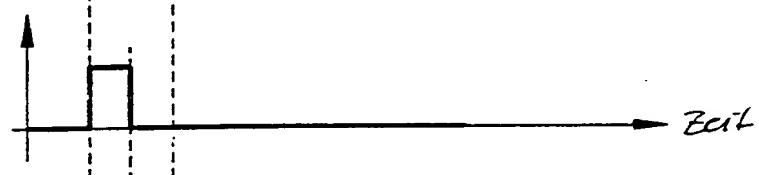


FIG.12D

Empfangssignal  
an Empfänger-  
wicklung 178

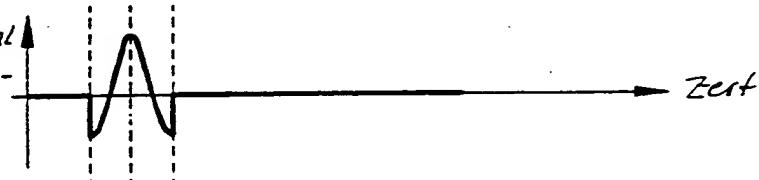


FIG.12E

Empfangssignal  
an Empfänger-  
wicklung 179



FIG.12F

Signal an  
Kondensator  
230

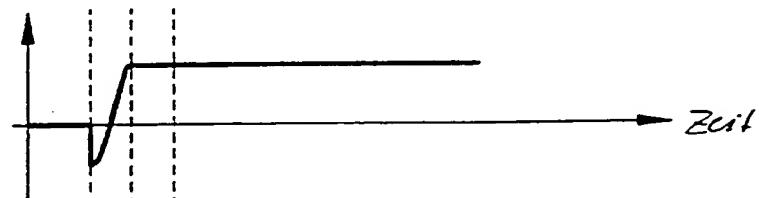


FIG.12G

Signal an  
Kondensator  
232

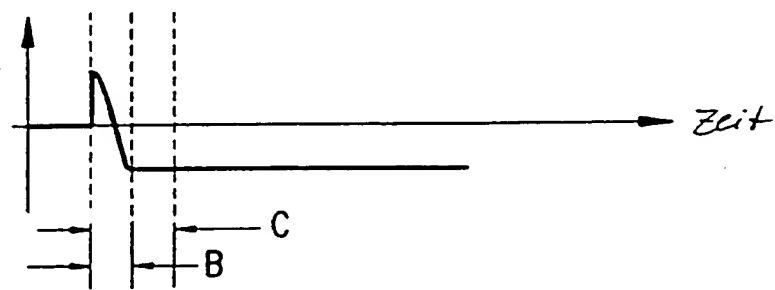


FIG.11A *Sendesteuerung*

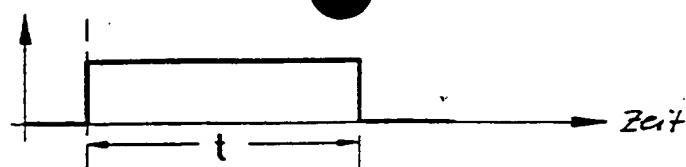


FIG.11B *Signal an Senderwicklung 180*

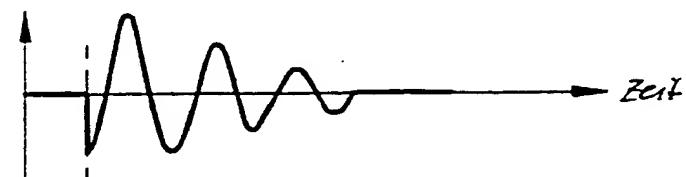


FIG.11C *Abtast/Halte-Steuerung*



FIG.11D *Empfangssignal an Empfängerwicklung 178*

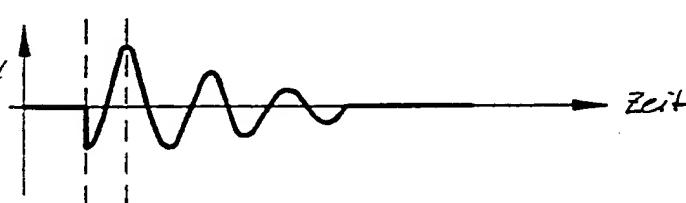


FIG.11E *Empfangssignal an Empfängerwicklung 179*

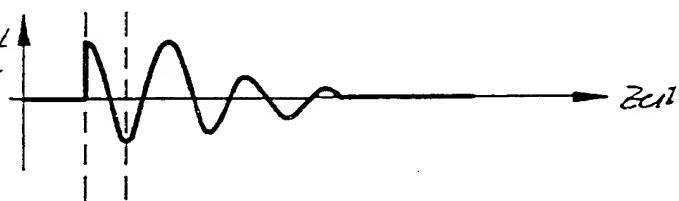


FIG.11F *Signal an Kondensator 230*

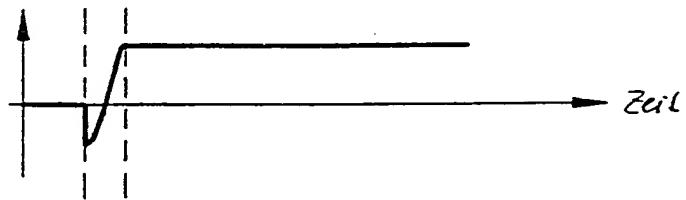
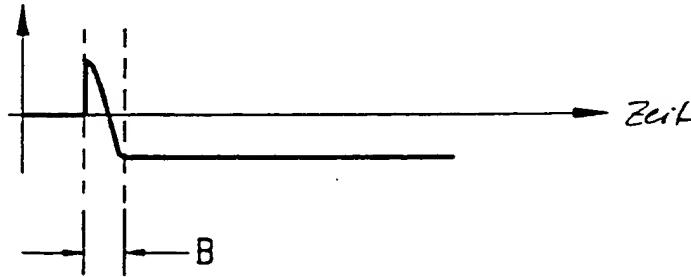


FIG.11G *Signal an Kondensator 232*



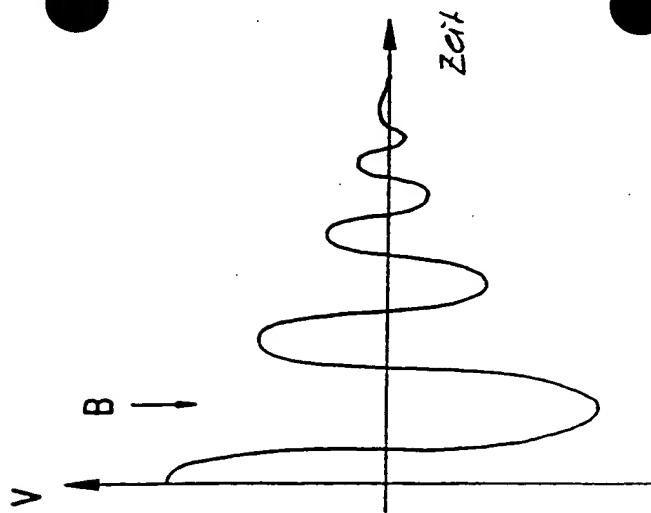


FIG. 10C

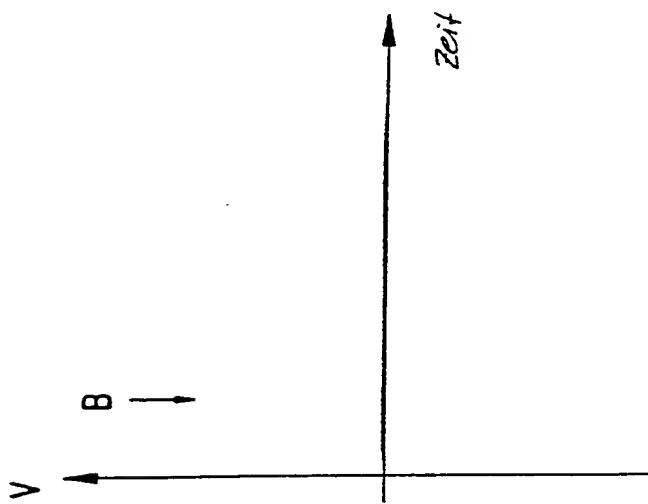


FIG. 10B

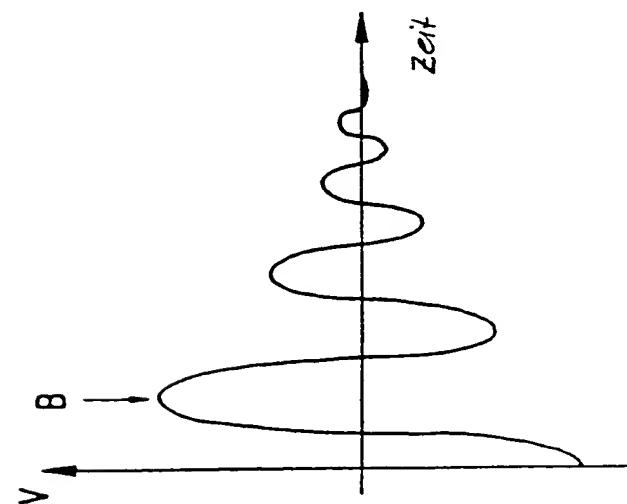


FIG. 10A

Spannung

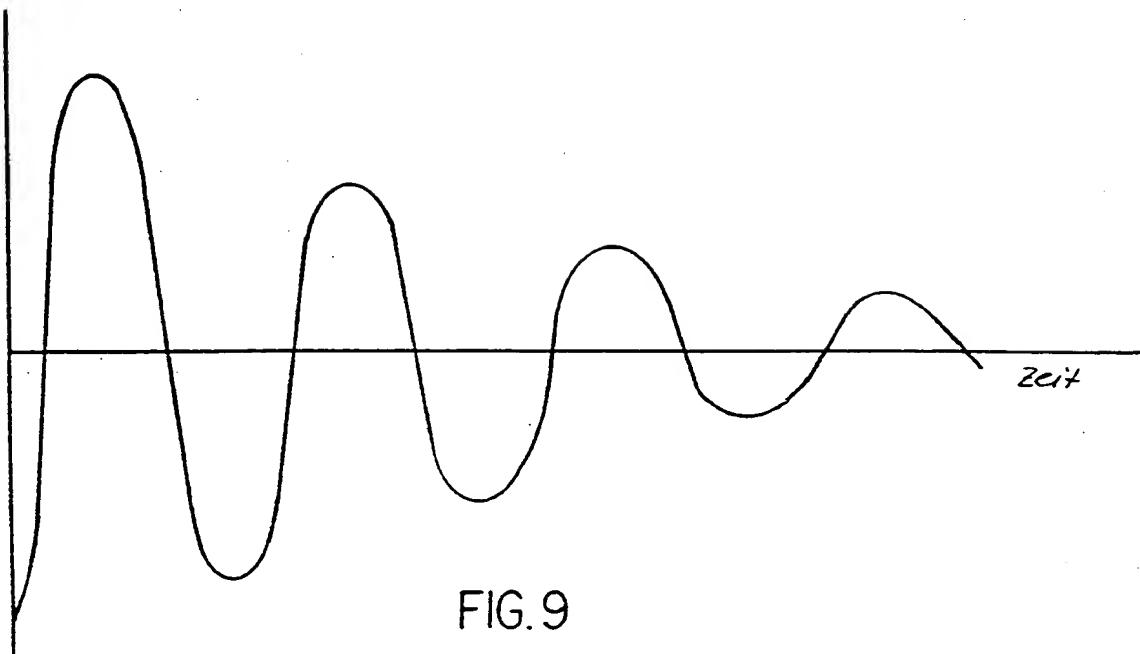


FIG. 9

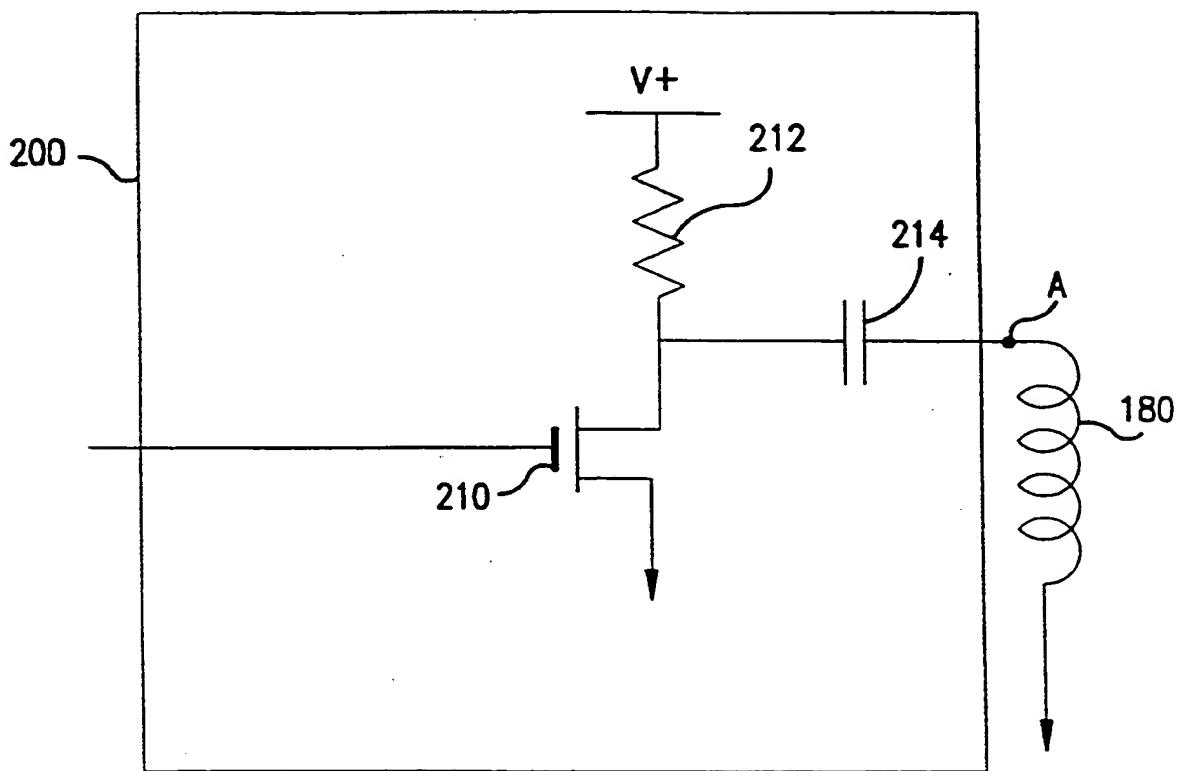


FIG.8

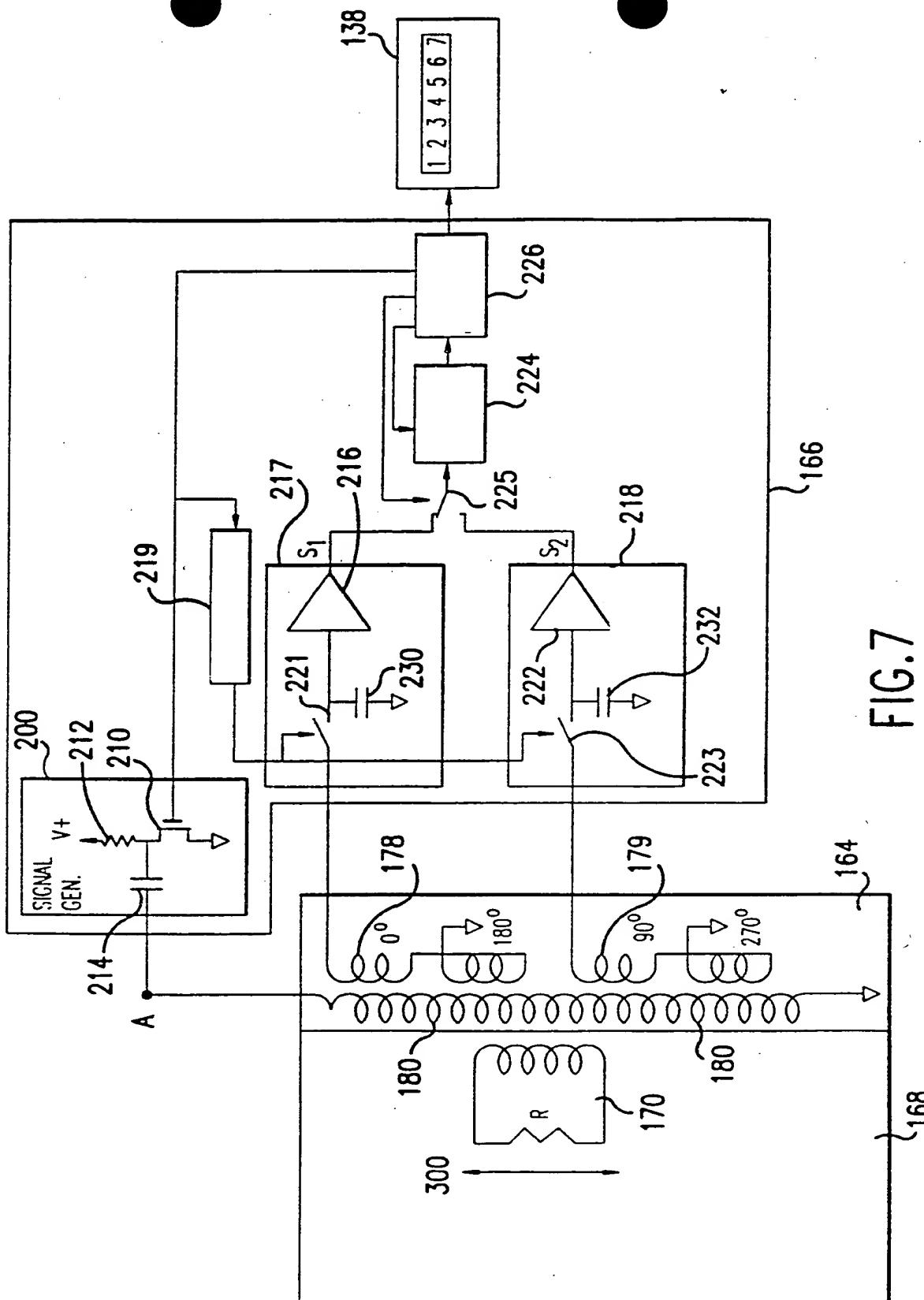


FIG. 7

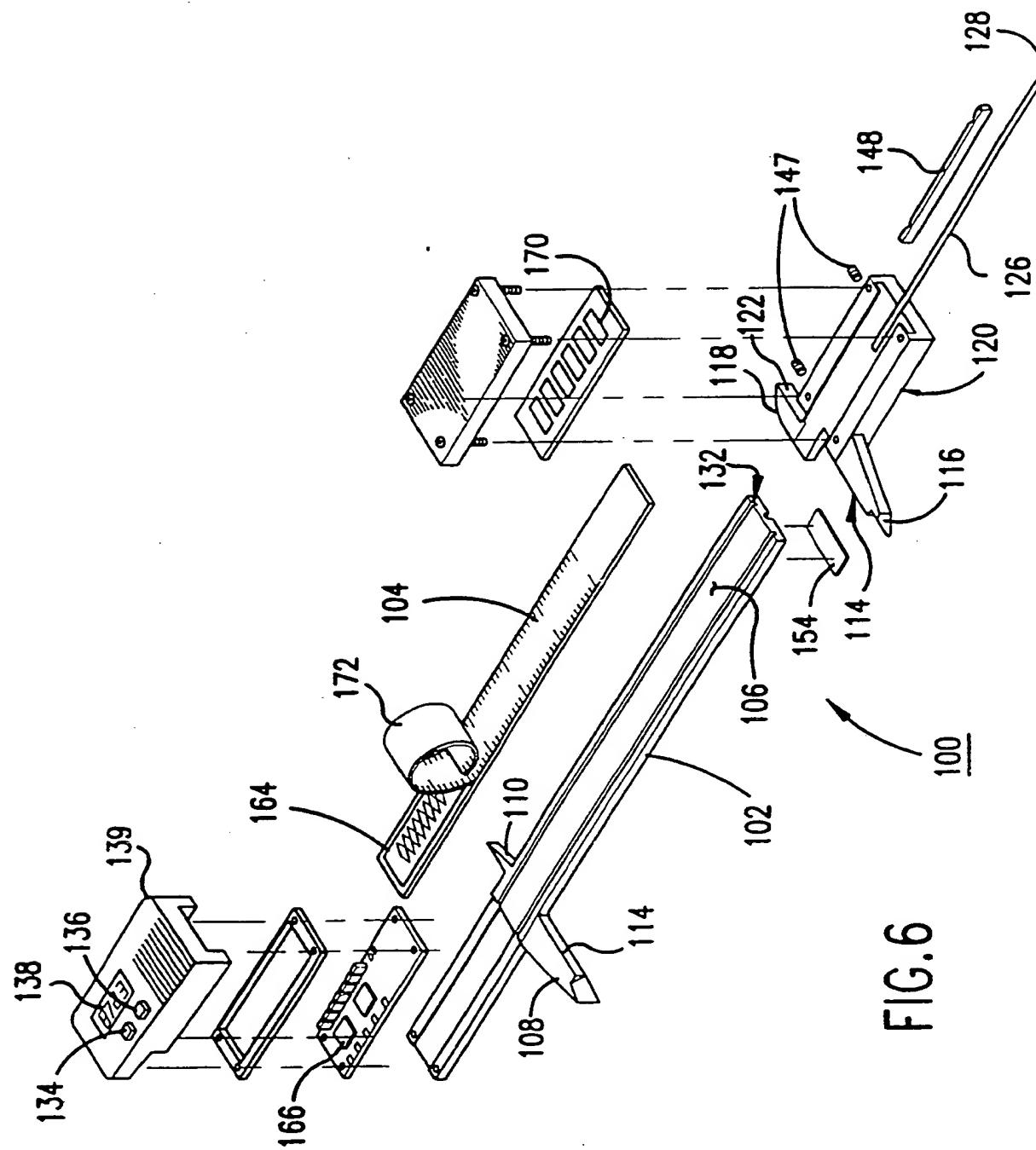


FIG. 6

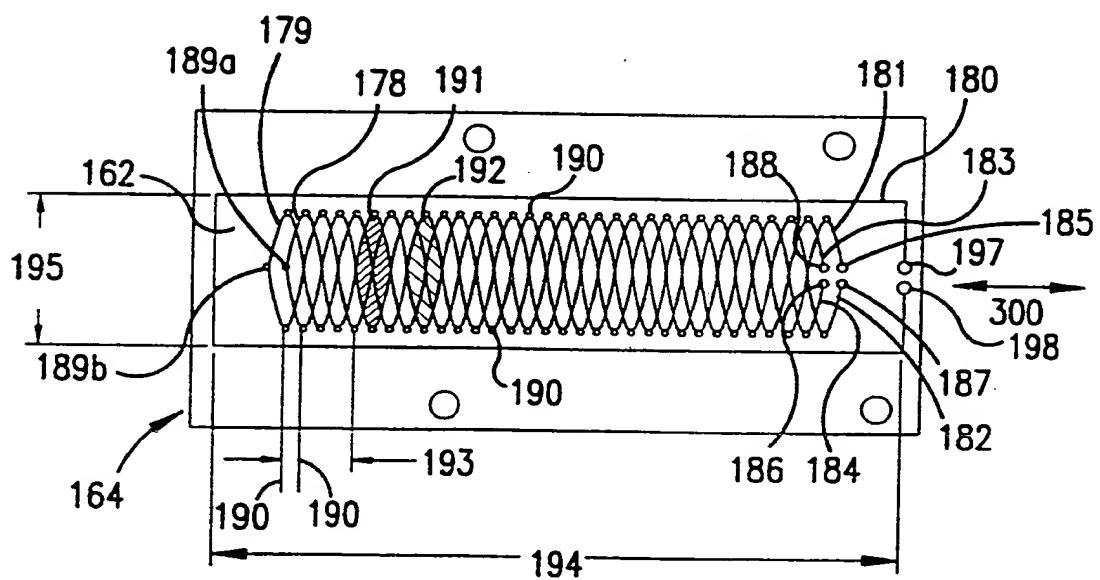
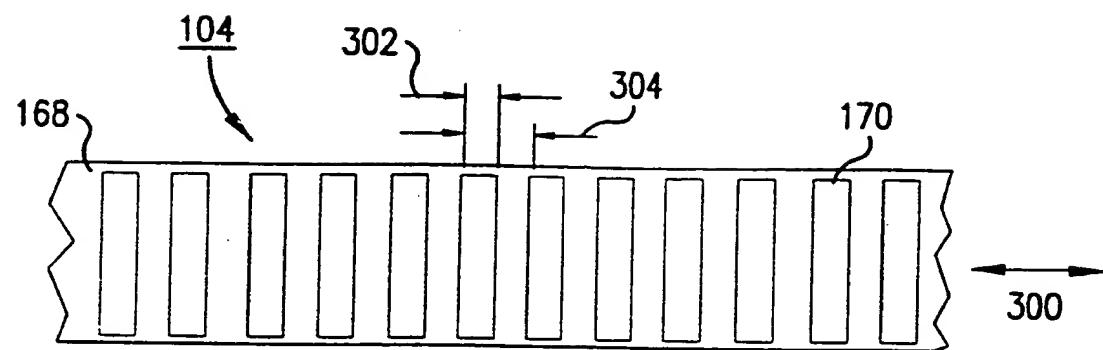


FIG.3

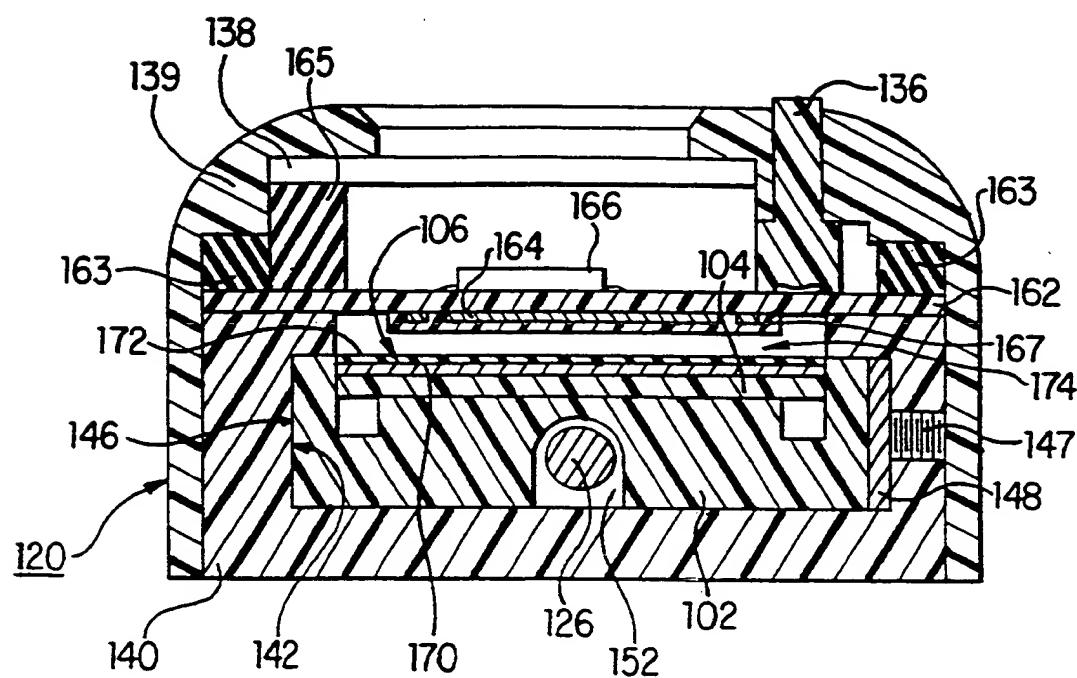
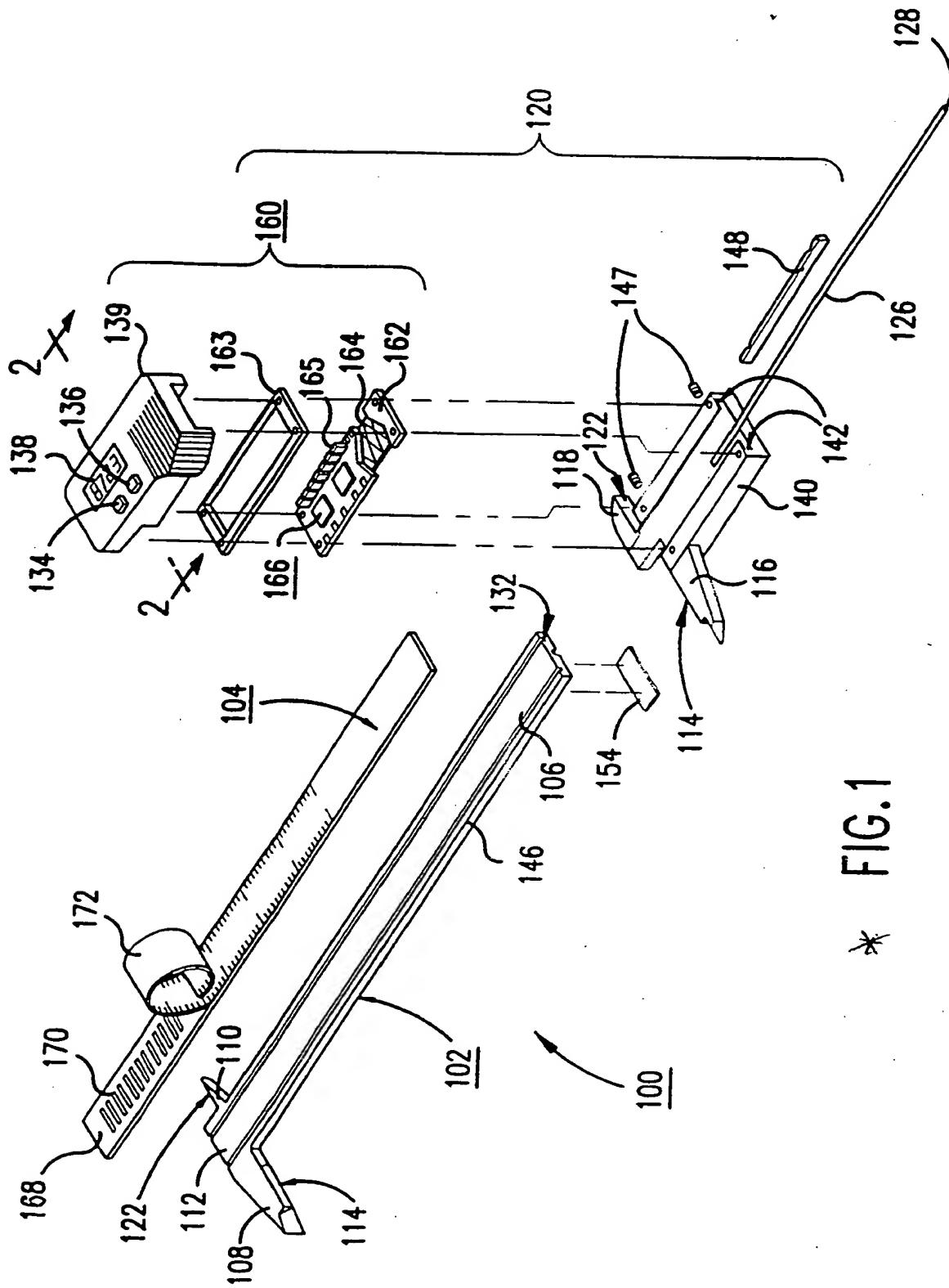


FIG. 2



一  
五

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

**BLACK BORDERS**

**IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

**FADED TEXT OR DRAWING**

**BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

**SKEWED/SLANTED IMAGES**

**COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

**GRAY SCALE DOCUMENTS**

**LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

**REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

**OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**